

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**TEMA**

**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA ZANAHORIA (DAUCUS CAROTA  
L.) Y TOMATE (SOLANUM LYCOPERSICUM) EN LAS FASES DE  
PROCESAMIENTO, ACCESO Y DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS  
CONVENCIONALES Y AGROECOLÓGICOS. CASO DE ESTUDIO:  
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES AGROECOLÓGICOS "BUEN VIVIR" -  
TABACUNDO Y "ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS  
PULIZA"- CAYAMBE**

**AUTOR:**

**EFREN EDUARDO TOCTO MALDONADO**

**DIRECTOR:**

**RONNIE XAVIER LIZANO ACEVEDO**

**Quito, marzo del 2019**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, EFREN EDUARDO TOCTO MALDONADO con documento de identificación No 1104895402, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA ZANAHORIA (DAUCUS CAROTA L.) Y TOMATE (SOLANUM LYCOPERSICUM) EN LAS FASES DE PROCESAMIENTO, ACCESO Y DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS CONVENCIONALES Y AGROECOLÓGICOS. CASO DE ESTUDIO: ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES AGROECOLÓGICOS "BUEN VIVIR" - TABACUNDO Y "ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS PULIZA"- CAYAMBE”, mismo que ha sido desarrollado para obtener el título de: INGENIERO AMBIENTAL, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....

Nombre: Efren Eduardo Tocto Maldonado

Cédula: 1104895402

Quito, marzo del 2019

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, con el tema: “ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA ZANAHORIA (DAUCUS CAROTA L.) Y TOMATE (SOLANUM LYCOPERSICUM) EN LAS FASES DE PROCESAMIENTO, ACCESO Y DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS CONVENCIONALES Y AGROECOLÓGICOS. CASO DE ESTUDIO: ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES AGROECOLÓGICOS "BUEN VIVIR" - TABACUNDO Y "ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS PULIZA"- CAYAMBE”, realizado por Efren Eduardo Tocto Maldonado, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2019



Ronnie Xavier Lizano Acevedo

Cédula: 1714291588

## **DEDICATORIA**

A mis padres Jorge y Victoria que con esfuerzo, sacrificio y lucha, me han apoyado siempre para cumplir las metas propuestas durante mi carrera gracias por creer en mí; ya que son y serán siempre un pilar fundamental en mi vida. Este logro es suyo.

A mis hermanos Santiago, Iván y Paul que siempre me han brindado su consejo y ayuda para seguir adelante, en especial Paul que has sido el apoyo incondicional en esta travesía estudiantil lejos de nuestra familia.

A mi esposa María José y a mi hijo Joaquín que me dan su amor cada día, que son y siempre serán mi razón de seguir adelante los amo con mi vida.

A cada uno de mis familiares y a todos los compañeros que fueron parte de mi vida universitaria.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a:

A la Universidad Politécnica Salesiana, por permitir formarme en sus aulas como excelente ser humano y profesional siendo parte de tan prestigiosa Institución.

A cada uno de los docentes por el conocimiento brindado a lo largo de la carrera.

Al maestro y amigo Msc. Ronnie Lizano por su paciencia, tiempo y esfuerzo dedicado a la realización de este trabajo.

Al CINCA y cada una de las personas que lo conforman quienes dieron la apertura para realizar la presente investigación en su centro.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Objetivo General.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>5</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1 Agricultura en Ecuador.....</b>	<b>6</b>
<b>3.2 Agricultura Convencional .....</b>	<b>7</b>
<b>3.3 Agricultura Agroecológica .....</b>	<b>8</b>
<b>3.4 Análisis de Ciclo de Vida (ACV) .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4.1 Etapas del análisis de ciclo de vida. ....</b>	<b>12</b>
<b>3.4.2 Definición del objetivo y alcance del ACV.....</b>	<b>12</b>
<b>3.4.3 Análisis de inventario de ciclo de vida (ICV).....</b>	<b>13</b>
<b>3.4.4 Evaluación de impacto de ciclo de vida.....</b>	<b>15</b>
<b>3.4.5 Interpretación. ....</b>	<b>17</b>
<b>3.4.6 Análisis de contribución. ....</b>	<b>17</b>
<b>3.4.7 Análisis de la influencia. ....</b>	<b>18</b>
<b>3.5 Huella de carbono .....</b>	<b>18</b>
<b>3.5.1 Determinación de la huella de carbono. ....</b>	<b>21</b>
<b>3.5.2 Tipos de emisiones. ....</b>	<b>21</b>
<b>3.5.3 Alcances.....</b>	<b>22</b>
<b>3.6 Huella hídrica .....</b>	<b>24</b>

3.6.1	Determinación de la huella hídrica.....	24
3.7	Etapas de Estudio .....	26
3.7.1	Fase de procesamiento. ....	26
3.7.2	Fase de distribución. ....	26
3.7.3	Fase de acceso.....	26
4.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
4.1	Materiales.....	27
4.2	Métodos .....	27
4.2.1	Cálculo huella de carbono. ....	28
4.2.2	Hojas para elaboración de cálculos.....	29
4.2.3	Cálculo huella de hídrica. ....	32
4.2.4	Interpretación. ....	32
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
5.1	Huella de carbono .....	33
5.1.1	Huella de carbono agroecológica para para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota L.</i> ).....	33
5.1.1.1	Fase de procesamiento para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota L.</i> ). ....	33
5.1.1.2	Fase de distribución para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota L.</i> ). ....	35
5.1.1.3	Fase de acceso para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota L.</i> ). ....	39

5.1.2	Huella de carbono convencional para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.).	41
5.1.2.1	Fase de procesamiento para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.).	42
5.1.2.2	Fase de distribución para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.).	46
5.1.2.3	Fase de acceso para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.).	50
5.2	Huella Hídrica	54
5.2.1	Huella hídrica agroecológica para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.).	54
5.2.2	Huella hídrica convencional para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.).	55
5.3	Análisis de contribución	57
5.4	Discusión	59
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
7.	BIBLIOGRAFÍA	70
8.	ANEXOS	74



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tasa de crecimiento del PIB total versus Agro y Pesca 1994-2007. (INIAP, 2008) .....	7
Figura 2: Etapas del Ciclo de vida.....	9
Figura 3: Estructura de un Análisis de Ciclo de vida .....	12
Figura 4: Mapa de entradas y salidas para procesos.....	14
Figura 5: Elementos de la fase de evaluación del ACV.....	17
Figura 6: Esquema de los elementos que componen cada alcance.....	23
Figura 7: Esquema de entradas y salidas fase de procesamiento agroecológico (zanahoria y tomate) .....	34
Figura 8: Descripción de los procesos en la fase de procesamiento agroecológico (zanahoria y tomate) .....	34
Figura 9: Esquema de Entradas y salidas fase de Distribución Agroecológico (zanahoria y tomate) .....	36
Figura 10: Descripción de los procesos en la fase de Distribución Agroecológico (zanahoria y tomate) .....	36
Figura 11: Esquema de Entradas y salidas fase de Acceso Agroecológico (zanahoria y tomate).....	39
Figura 12: Descripción de los procesos en la fase de Acceso Agroecológico (zanahoria y tomate) .....	39
Figura 13: Esquema de Entradas y salidas fase de Procesamiento Convencional (zanahoria y tomate) .....	42
Figura 14: Descripción de los procesos en la fase de Procesamiento Convencional (zanahoria y tomate) .....	43

Figura 15: Esquema de Entradas y salidas fase de Distribución Convencional (zanahoria y tomate) .....	46
Figura 16: Descripción de los procesos en la fase de Distribución Convencional (zanahoria y tomate) .....	47
Figura 17: Esquema de Entradas y salidas fase de Acceso Convencional (zanahoria y tomate) .....	50
Figura 18: Descripción de los procesos en la fase de Acceso Convencional (zanahoria y tomate) .....	50
Figura 19: Relación de los Alcances de la Huella de Carbono Agroecológica vs. Convencional del Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y Zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.) .....	53
Figura 20: Huella de Carbono Agroecologica vs. Convencional del Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y Zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.) t CO <sub>2</sub> eq. ....	54
Figura 21: Huella Hídrica Agroecológica vs. Convencional del Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y Zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.) t CO <sub>2</sub> eq. ....	57
Figura 22: Huella de carbono agroecológica fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.) % g CO <sub>2</sub> eq.....	63
Figura 23: Huella de carbono convencional fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de zanahoria ( <i>Daucus Carota</i> L.) % g CO <sub>2</sub> eq.....	63
Figura 24: Huella hídrica agroecológica fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de zanahoria ( <i>Daucus Carota</i> L.) L/kg. ....	64
Figura 25: Huella hídrica convencional fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de zanahoria ( <i>Daucus Carota</i> L.) L/kg. ....	64
Figura 26: Huella de carbono agroecológica fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) g CO <sub>2</sub> eq. ....	66

Figura 27: Huella de carbono convencional fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) g CO <sub>2</sub> eq. ....	66
Figura 28: Huella hídrica convencional fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) L/kg.....	67
Figura 29: Huella hídrica convencional fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) L/kg.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías de evaluación de impacto .....	15
Tabla 2. Análisis de contribución ACV .....	18
Tabla 3. Análisis de Influencia ACV .....	18
Tabla 8. Materiales y equipos empleados. ....	27
Tabla 4. Hoja de cálculo para el alcance 1 dentro de la huella de carbono .....	30
Tabla 5. Hoja de cálculo para el alcance 2 dentro de la huella de carbono .....	30
Tabla 6. Hoja de cálculo para el alcance 3 dentro de la huella de carbono .....	31
Tabla 7. Suma total los alcances para el total de la huella de carbono .....	31
Tabla 9. Hoja de cálculo para el alcance 2 fase de procesamiento huella de carbono agroecológica (zanahoria y tomate) .....	35
Tabla 10. Total de la huella de carbono agroecológica fase procesamiento (zanahoria y tomate) .....	35
Tabla 11. Hoja de cálculo para el alcance 3 fase de distribución huella de carbono agroecológica (zanahoria y tomate) .....	38
Tabla 12. Total de la huella de carbono agroecológica fase distribución (zanahoria y tomate) .....	38
Tabla 13. Total de la huella de carbono agroecológica fase acceso (zanahoria y tomate) .....	39
Tabla 14. Suma total de la huella de carbono agroecológica de los tres alcances (zanahoria y tomate) .....	40
Tabla 15. Total huella de carbono agroecológica para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.) .....	41
Tabla 16. Hoja de cálculo para el alcance 1 fase de procesamiento huella de carbono convencional (zanahoria y tomate) .....	44

Tabla 17. Hoja de cálculo para el alcance 2 fase de procesamiento huella de carbono convencional (zanahoria y tomate).....	44
Tabla 18. Hoja de cálculo para el alcance 3 fase de procesamiento huella de carbono convencional (zanahoria y tomate).....	45
Tabla 19. Total de la huella de carbono convencional fase procesamiento convencional (zanahoria y tomate).....	45
Tabla 20. Hoja de cálculo para el alcance 1 fase de distribución huella de carbono convencional (zanahoria y tomate).....	48
Tabla 21. Hoja de cálculo para el alcance 3 fase de distribución huella de carbono convencional (zanahoria y tomate).....	49
Tabla 22. Total de la huella de carbono convencional fase distribución (zanahoria y tomate) .....	49
Tabla 23. Hoja de cálculo para el alcance 2 fase de acceso huella de carbono convencional (zanahoria y tomate).....	50
Tabla 24. Total de la huella de carbono convencional fase acceso (zanahoria y tomate) .....	51
Tabla 25. Total de la huella de carbono convencional sumatoria de las tres fases (zanahoria y tomate) .....	51
Tabla 26. Total huella de carbono agroecológica para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.).....	52
Tabla 27. Total huella hídrica agroecológica para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.).....	55
Tabla 28. Total huella hídrica convencional para tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) y zanahoria ( <i>Daucus carota</i> L.).....	56

Tabla 29. Análisis de contribución de los diferentes tipos de huellas con los dos productos en estudio .....	57
Tabla 30: Comparación de los datos obtenidos para la fase agrícola vs fase de procesamiento, distribución y acceso cultivo de zanahoria sistema agroecológico y convencional.....	62
Tabla 31: Comparación de los datos obtenidos para la fase agrícola vs fase de procesamiento, distribución y acceso cultivo de tomate sistema agroecológico y convencional.....	65

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Lavado de cultivo Agroecológico. ....	74
Anexo 2: Tomate agroecológico cosechado fase procesamiento. ....	74
Anexo 3: Cultivo de zanahoria agroecológica fase de procesamiento. ....	75
Anexo 4: Almacenamiento productos agroecológicos para su entrega. ....	75
Anexo 5: Almacenamiento productos agroecológicos. ....	76
Anexo 6: Cultivos de zanahoria y tomate agroecológicos. ....	76
Anexo 7: Camión repartidor fase de distribución. ....	77

## RESUMEN

Alimentos como zanahoria y tomate son consumidos a diario en Ecuador, razón por la que en la presente investigación tuvo como propósito elaborar un análisis de ciclo de vida en producción agroecológica y convencional, tomando las etapas de procesamiento, distribución y acceso, en la cual se determinó las condiciones de sustentabilidad en las que estos son producidos y cuál es su contribución, el estudio se lo realizó en la “Asociación de Productores Agroecológicos "Buen Vivir" – Tabacundo” y "Asociación de Productores Agropecuarios Puliza- Cayambe”.

La metodología utilizada para visualizar las diferencias de estos modelos agrícolas se basó en la norma ISO 14040, en las fases antes mencionadas, específicamente en la huella de carbono se mide la cantidad de gases de efecto invernadero y la huella hídrica utilizada para la producción de estos cultivos en estudio.

En este análisis se determinó que un cultivo de tomate agroecológico emite 1700 g de CO<sub>2</sub> eq. y consume 1.73 litros de agua, un cultivo de tomate convencional emite 655400 g de CO<sub>2</sub> eq. y consume 76 litros de agua; de la misma forma un cultivo de zanahoria agroecológico emite 400 g de CO<sub>2</sub> eq. y consume 4.7 litros de agua, un cultivo de zanahoria convencional emite 524300 g de CO<sub>2</sub> eq. y consume 60.8 litros de agua, estos resultados están dados por kilogramo de producto. De esta manera, este estudio puede ayudar a tomar decisiones dentro del ámbito ambiental, económico y social para impulsar la producción de sistemas de producción agrícolas sustentables dentro del país.



## ABSTRACT

Foods such as carrots and tomatoes are consumed daily in the Ecuador, which is why the purpose of this research was to develop a life cycle assessment of agroecological and conventional production, taking the stages of processing, distribution and access, in the which was determined the sustainability conditions in which these are produced and what their contribution, the study was carried out in the “Asociación de Productores Agroecológicos "Buen Vivir" – Tabacundo” y “Asociación de Productores Agropecuarios Puliza- Cayambe”.

The methodology used to visualize the differences of these agricultural models was based on ISO 14040, in the phases mentioned above, specifically the carbon footprint, the amount of greenhouse gases and the water footprint used for the production of these crops under study is measured..

In this analysis, it was determined that an agroecological tomato crop emits 1700 g of CO<sub>2</sub> eq. and consumes 1.73 liters of water, a conventional tomato crop emits 655400 g of CO<sub>2</sub> eq. and it consumes 76 liters of water; In the same way, an agroecological carrot crop emits 400 g of CO<sub>2</sub> eq. and consumes 4.7 liters of water, a conventional carrot crop emits 524300 g of CO<sub>2</sub> eq. and consumes 60.8 liters of wáter, these results are given per kilogram of product.. In this way, this study can help to make decisions within the environmental, economic and social scope to promote the production of sustainable agricultural production systems within the country.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una sociedad globalizada orientada a la búsqueda de la verdad en el conocimiento exige respuesta a la interrogante ¿Qué o Cuáles productos que estamos consumiendo ofrecen una mejor calidad ambiental?, pero esto implica un conocimiento holístico y no se lo puede definir con un solo parámetro sino que contiene una serie de indicadores y valores que nos servirán para determinar la calidad de este producto a ser consumido (Anton, 2012). Para esto es necesario el uso de una metodología adecuada que se puede encontrar dentro de un análisis de ciclo de vida.

El Análisis de Ciclo de vida es una propuesta que engloba todos los campos requeridos para determinar la calidad ambiental de un producto, sin olvidar que esta herramienta en un principio todos sus lineamientos fueron desarrollados para aplicarlos dentro de procesos industriales para el desarrollo de productos menos contaminantes en la mejora de las políticas ambientales de empresas; pero a medida que se ha ido perfeccionando y depurando los conocimientos se lo aplica para el conocimiento ambiental de cómo se comporta los productos y procesos a lo largo de la vida útil del mismo (Pérez, 2013). Es decir, que la aplicación de esta metodología comienza con el diseño y desarrollo del producto y continúa hasta que finaliza su uso con la reutilización y si fuera el caso el reciclaje.

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el tomate (*Solanum lycopersicum*) es un cultivo con un ciclo aproximado de 210 días, siendo la hortaliza más importante después de la papa a nivel mundial debido a que puede ser cultivado a cielo abierto o en invernaderos; se lo encuentra en la mayoría de las provincias del país pero su mayor concentración está en las provincias de: Imbabura, Cotopaxi, Chimborazo, Tungurahua, Azuay y Loja. En el país para el año 2015 se produjeron

cerca de 68 toneladas, exportando alrededor de 4 toneladas lo restante es utilizado en la producción industrial y para consumo local. Las actividades que requieren mayor inversión con un 52% de los costos son la de cosecha con la adquisición de materiales como cajas para su transportación y fertilización, en donde se necesita mano de obra calificada para realizar estas actividades. La plaga que afecta el desarrollo de este cultivo en el país es la mosca blanca y enfermedades como: *Bacteriosis*, *Botritis*, *Oidium* y *Phytophthora infestans* (MAGAP, 2015).

Por otro lado la zanahoria (*Daucus carota L.*) se cultiva en el país desde hace más de 500 años de una manera tradicional por nuestros campesinos teniendo un rendimiento aproximado de 10 toneladas/hectárea, haciendo de este un vegetal altamente consumido por su contenido de carotenos, luteína y otros componentes beneficiosos para la salud de los consumidores (López, 2011). A esta hortaliza se la cultiva casi en todo el Ecuador teniendo una preferencia por los climas templados soportando heladas ligeras, es un cultivo exigente por lo que se recomienda no repetirlo de 4 a 5 años; la superficie cultivada es de 4000 ha y las principales provincias productoras son: Chimborazo, Pichincha, Bolívar y Cotopaxi (Duran, 2006).

Al igual que en diferentes partes del mundo, Ecuador ha sufrido un cambio drástico en la manera de producción, existiendo dos modelos principales de producción la convencional y agroecológica. La convencional que ofrece mayor eficiencia al utilizar productos químicos, fertilizantes y recursos; la agroecológica que se basa en el manejo de los recursos con una cadena comercial justa y producción sana (Charvet, 2012). Para estimar los impactos de estos modelos de producción sobre el ambiente se deberá realizar un análisis dentro de su ciclo de vida.

De esta manera, para conocer y determinar los aspectos e impactos producidos a lo largo del ciclo de vida de un producto convencional y agroecológico, es necesario el uso de una herramienta como el Análisis del Ciclo de Vida que permite analizar el desempeño de forma integral de un producto en particular en sus diferentes fases (Pérez, 2013). Obteniendo información veraz y transparente del desempeño de los productos analizados en la fase de procesamiento, distribución y acceso, cabe mencionar que el presente trabajo es parte de un proceso de investigación en el que existen 2 estudios que lo preceden, en los cuales se toma toda la fase agrícola; es decir todo el ciclo comprendido desde la siembra hasta la cosecha del producto.

Como en todas las actividades productivas del ser humano, la agricultura implica una explotación del medio natural, para lo cual, se recurre a técnicas con el objetivo de mejorar el rendimiento de los cultivos. Por este motivo, en la sociedad existe diferentes opiniones al momento de definir qué producto es perjudicial para el ambiente como para la salud; entonces para poder valorar esta calidad se deben establecer parámetros transparentes, cuantificables y objetivos, los cuales van a ayudar a definir qué aspectos de un producto son nocivos para los recursos naturales y seres humanos mediante la propuesta de un Análisis de Ciclo de vida (Anton, 2012). Razón por la cual, en la presente investigación, se busca realizar un Análisis de Ciclo de Vida Comparativo de cultivos convencionales y agroecológicos del tomate (*Solanum lycopersicum*) y la zanahoria (*Daucus carota L.*), en su procesamiento, acceso y distribución; donde se definirán las ventajas o desventajas que tienen los productos convencionales y agroecológicos valorando todos los impactos generados dentro de las fases antes mencionadas.

Es de vital importancia estimar la Huella de Carbono e Hídrica en la producción de alimentos para nuestro consumo diario como los que se plantea en este estudio, ya

que se necesita visualizar la cantidad de contaminantes que emiten las actividades agrícolas convencionales como agroecológicas, contribuyendo a la seguridad alimentaria, conservación del ambiente y la viabilidad de estos sectores (Roig, 2017). Lo que repercute directamente en la calidad de vida de las personas asociadas a estas actividades productivas.

Mediante el aporte que puede generar este proyecto asociado al Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales (GRICAM) de la Universidad Politécnica Salesiana, se creará un puente para lograr alcanzar el objetivo de vincular los distintos actores como: Instituciones del Estado, Universidades, Redes de productores y sociedad en general para generar relaciones urbano – rurales soberanas, seguras y sustentables. Siendo necesario incentivar la investigación, conocimiento e implementación que demuestre; y, en donde se promueva la producción de alimentos que no afecten la soberanía alimentaria, que cumplan con los requerimientos nutricionales de los consumidores logrando una agricultura sostenible desde el punto de vista social, económico y ambiental, que beneficie tanto a productores como consumidores.

Por tal razón es que se planteó la hipótesis de trabajo donde se manifiesta que: los cultivos convencionales de tomate y zanahoria emiten mayor cantidad de huella de carbono e hídrica que un cultivo agroecológico y la hipótesis nula: los cultivos convencionales de tomate y zanahoria emiten menor cantidad de huella de carbono e hídrica que un cultivo agroecológico.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Elaborar un Análisis de Ciclo de Vida comparativo de cultivos convencionales y agroecológicos del tomate (*Solanum lycopersicum*) y la zanahoria (*Daucus carota L.*). Caso de estudio: “Asociación de Productores Agroecológicos "buen vivir"” - Tabacundo y "Asociación de Productores Agropecuarios Puliza"- Cayambe

### **2.2 Objetivos Específicos**

- En campo: realizar el inventario de entradas y salidas en la fase de procesamiento distribución y acceso para un kilogramo de producto, de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica.
- Estimar los indicadores de impacto ambiental (huella de carbono e hídrica) para ambos sistemas de producción.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Agricultura en Ecuador**

Ecuador se lo reconoce de manera internacional como un país exportador de materias primas, entre las cuales se encuentran las petroleras y no petroleras; dentro de las exportaciones no petroleras las principales son las provenientes del sector agropecuario ya que en nuestro país existen condiciones únicas de clima, suelo, temperatura, intensidad de luz y otros factores que hacen un lugar privilegiado dentro del globo para la producción agrícola de productos como: banano, cacao, café, etc. (Charvet, 2012). Por estas razones en el sector agropecuario no se generan productos con valor agregado o manufacturados.

La horticultura en general, tomó un gran impulso desde los años 90 debido al crecimiento en el consumo tanto a nivel local como internacional, al mejoramiento de las técnicas de producción con la implementación de la tecnología y la diversificación de los cultivos existentes en la zona, concentrándose su producción principalmente en la Región Sierra de la que se derivan dos formas de producción: convencional y agroecológica (Charvet, 2012). Las cuales se analizarán en este trabajo específicamente para los cultivos de tomate y zanahoria.

El sector agrícola es fundamental al ser uno de los principales motores económicos del país, el cuál produce bienes que son utilizados en el mercado interno y externo, mismo que aporta de manera significativa a la economía con un 18.4%. Garantiza la seguridad alimentaria, a medida que se introduce en el mercado mundial, donde produce bienes y servicios diferenciados y de calidad, generando valor agregado con rentabilidad económica, equidad social, sostenibilidad ambiental e identidad cultural (INIAP, 2008)

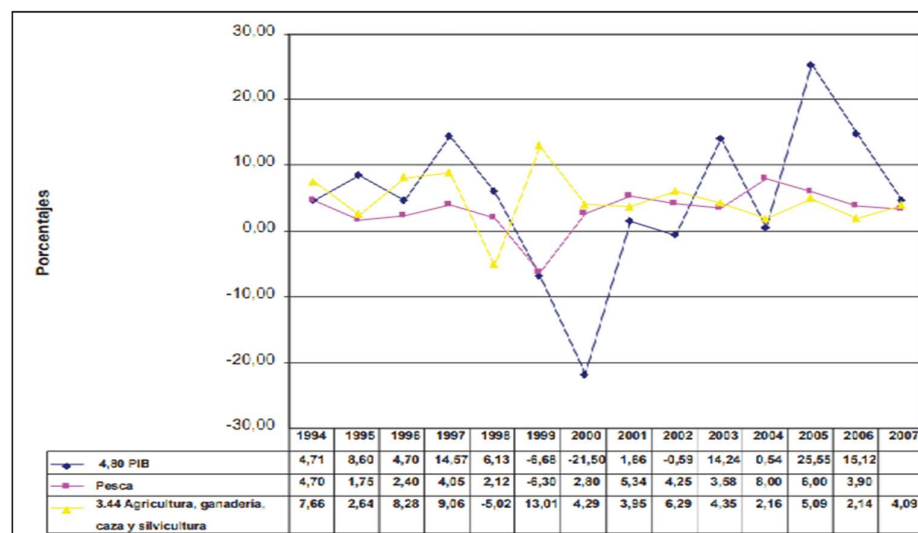


Figura 1: Tasa de crecimiento del PIB total versus Agro y Pesca 1994-2007. (INIAP, 2008)

### 3.2 Agricultura Convencional

Corresponde a sistemas agrícolas en donde existen grandes cantidades de insumos externos, mecanización y automatización de procesos productivos en los cuales se reemplaza la mano de obra, especialización de las operaciones y finalmente donde se promueve la existencia de monocultivos. Todo esto se debe al gran desarrollo científico y tecnológico donde estos cultivos usan semillas mejoradas genéticamente al igual que poderosos herbicidas, fungicidas, pesticidas y químicos fertilizantes para elevar considerablemente su producción generando mayores ganancias; razón por la cual estas tecnológicas modernas tienen efectos perversos sobre el ambiente degradándolo cada vez por las cantidades de químicos utilizados, donde recursos como el suelo, agua y aire que al ser afectados por la contaminación generada por estos químicos son cada vez más escasos, produciendo dentro de la sociedad enfermedades y desempleo al quedarse sin recursos para trabajar (Ortega, 2009).



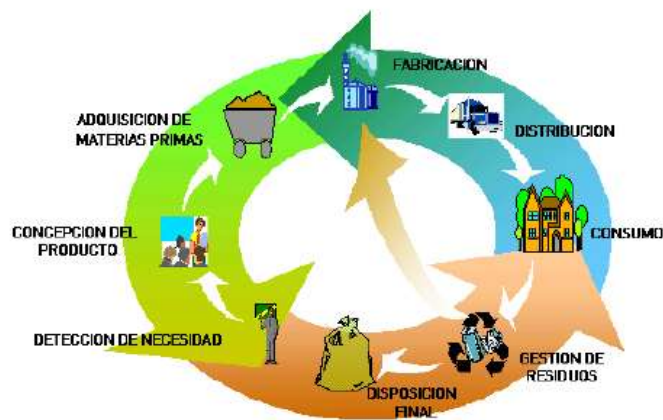
### **3.3 Agricultura Agroecológica**

Se establece como una agricultura enfocada no solo en la producción sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema, que define al cultivo como un ecosistema en el cual ocurren procesos de relaciones ecológicas tales como: ciclo de nutrientes, interacciones, competencias, etc. El propósito de esta agricultura es explicar la forma, dinámica y funciones de estas relaciones para así poder administrarlos de mejor manera, aminorando los impactos negativos en el ambiente y la sociedad (Restrepo M., Angel S., & Prager M., 2000). También se expresa como una forma de apropiación cultural de las comunidades campesinas revalorizando sus prácticas tradicionales en la producción agrícola, por lo tanto se basa en: diversificar el agroecosistema, adaptación de las condiciones locales, balancear el flujo de nutrientes y energía, incrementar las relaciones sinérgicas de los seres vivos y finalmente el manejo holístico de este sistema agroalimentario (Heifer & MAGAP, 2014).

En la actualidad, existen mercados en los que se exige la presencia de los alimentos orgánicos para el consumo de sus habitantes entre ellos tenemos: Estados Unidos, Europa y Japón; mostrando un crecimiento exponencial de 11 mil millones a 100 mil millones desde 1997 a 2010 siendo los países europeos (Reino Unido, Dinamarca, Suiza, etc.) los que han mostrado mayor interés y crecimiento en la demanda de estos productos. Las estadísticas mundiales muestran que los cultivos orgánicos crecen paulatinamente, de forma particular América Latina tiene más de 8 millones de hectáreas destinadas a este tipo de cultivo lo cual representa aproximadamente el 0.9% de tierra agrícola a nivel mundial (Charvet, 2012). Lo que demuestran estas estadísticas es la importancia de los cultivos agroecológicos en la alimentación a nivel mundial al consumir alimentos sanos.

### 3.4 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Es una herramienta metodológica de gestión que sirve para medir de forma objetiva, sistemática y científica el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida completo. El uso de esta herramienta permite determinar los impactos ambientales significativos, para de esta forma poder mitigarlos o reducirlos en todas las fases del ciclo de vida (Leiva, 2016).



*Figura 2: Etapas del Ciclo de vida*

Fuente: (Leiva, 2016)

Haciendo una breve descripción histórica el ACV se divide en dos periodos: el primero en 1960 hasta 1980 y el segundo desde 1990 hasta el presente. Los primeros estudios realizados trataban solamente de estudios de consumo energético para la elaboración de sustancias químicas, posteriormente se realizaron estudios detallados para la gestión de los recursos energéticos donde fue necesario incluir consumo de materias primas y generación de residuos (Pérez, 2013). Siguiendo con el desarrollo histórico aparece el segundo periodo mismo en el que se proyectó el tema a nivel internacional organizando seminarios acerca del ACV, se inician los trabajos con software específicos impulsados por políticas y programas de la Unión Europea. En

1993 se crea en la ISO (International Organization for Standardization) el Comité Técnico 207, con el objetivo de desarrollar normativas necesarias para la gestión ambiental. Es aquí donde se desarrolla las series de normas ISO 14040, las cuales hacen referencia al Análisis de Ciclo de Vid. La norma UNE-EN ISO 14040, trata en forma general los aspectos e impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida mediante una recopilación de entradas y salidas del producto, evaluación de los potenciales impactos asociados a entradas y salidas, y finalmente la interpretación de los resultados en las fases de análisis de inventario y evaluación de impacto de todo el ciclo de vida (Leiva, 2016).

Para la determinación del ACV de un producto se necesita analizar y cuantificar un conjunto de elementos interrelacionados como son las entradas y las salidas de los procesos productivos en la elaboración del mismo, como ejemplos se pueden mencionar a: materiales, energía, emisiones, etc. Debido a que todos los productos elaborados y sus procesos productivos provocan impactos ambientales modificándolo durante su periodo de vida sin importar la duración de este. (Pérez, 2013)

Dentro de las etapas del ciclo de vida a ser cuantificadas se tiene las siguientes:

- Materias Primas: Actividades que se consideran como actividades necesarias para la extracción de recursos necesarios previo a la producción del bien (Pérez, 2013).
- Fabricación, procesado y formulación: Es una serie de etapas que aportan a la cadena del proceso donde se convierten las materias primas y energía en el producto deseado (Pérez, 2013).

- Distribución y transporte: Movimiento de materia y energía entre las etapas del ciclo desde donde son manufacturados hasta su punto de venta o comercialización (Pérez, 2013).
- Uso, reutilización y mantenimiento: Donde el usuario le da uso al producto para lo cual fue fabricado terminado cuando el mismo pasa a ser un residuo (Pérez, 2013).
- Gestión de residuos: Son todas las actividades necesarias para procesar al residuo obteniendo una materia prima o un nuevo producto acercándose al impacto mínimo y al residuo cero (Pérez, 2013).

Cabe señalar, que todas las etapas o actividades provocan impactos sobre el ambiente, consumen recursos, emiten sustancias y generan modificaciones, las cuales incluyen el cambio climático, reducción de la capa de ozono, eutrofización, contaminación, degradación, etc. (Pérez, 2013). Las cuales contribuyen a un continuo deterioro del planeta si no son controladas adecuadamente.

Existen 3 tipos de alcances de ACV, estos son:

De la cuna a la tumba: toma en cuenta las entradas y salidas en la extracción de las materias primas, el procesamiento de las materias primas, elaboración del producto, transporte, almacenaje, acceso, distribución, uso y finalmente reciclaje o disposición final (Leiva, 2016).

De la cuna a la puerta: se enfoca en las entradas y salidas desde que se procesa las materias primas para la obtención del producto, elaboración del producto, transporte, almacenaje, distribución, acceso, uso y finalmente reciclaje o disposición final (Leiva, 2016).

De la puerta a la puerta: se centra solamente en las entradas y salidas de la manufactura del producto, transporte, almacenaje, acceso, distribución, uso y finalmente reciclaje o disposición final (Leiva, 2016).

#### 3.4.1 Etapas del análisis de ciclo de vida.



Figura 3: Estructura de un Análisis de Ciclo de vida

Fuente: (Leiva, 2016)

#### 3.4.2 Definición del objetivo y alcance del ACV.

En esta etapa se da a conocer los motivos por los que se va a desarrollar el estudio y la amplitud del mismo. Los objetivos que se exponen deben ser claros y coherentes con la aplicación prevista y a quién va dirigido. El alcance consiste en la extensión, amplitud, profundidad y detalle del estudio. (Leiva, 2016)

### **3.4.3 Análisis de inventario de ciclo de vida (ICV).**

Esta fase consiste en la identificación y cuantificación de las entradas y salidas del sistema en estudio del producto. Por sistema del producto se entiende el conjunto de procesos unitarios conectados material y energéticamente que realizan una o más funciones idénticas, los datos son validados por la unidad funcional los cuales servirán como punto de partida para iniciar con la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida. La información obtenida de esta fase es evaluada identificándose las mejoras ambientales que se puedan realizar, las etapas a cuantificar son las siguientes: entrada de materias primas, fabricación de productos, transporte y distribución, uso del producto, reciclaje y gestión de residuos (Leiva, 2016).

Para tener una visión global de la elaboración del producto se debe construir diagramas de flujo con sus respectivas relaciones, descripción de las unidades y medidas de cada parámetro, describir los métodos utilizados para la recolección eficaz de los datos, técnicas de cálculos empleadas para la obtención de resultados (Leiva, 2016). Siguiendo todos estos parámetros se puede obtener un resultado satisfactorio dentro de esta investigación.

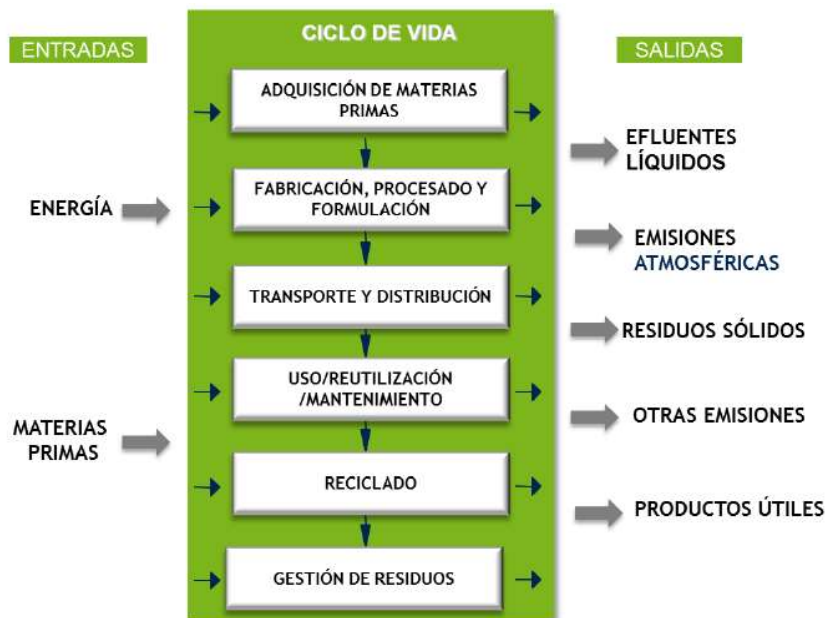


Figura 4: Mapa de entradas y salidas para procesos.

Fuente: (Leiva, 2016)

La recolección de datos es la actividad que consume mayor cantidad de tiempo dentro del estudio, se puede tomar otros estudios como referencia siempre y cuando los datos sean representativos (Leiva, 2016). Sin embargo, la recolección de datos propios de estudio dará una visión real ya que existen factores únicos de cada zona y específicos de cada producto.

La información se la puede clasificar de la siguiente forma:

- Materias primas directas y auxiliares: Son todos los materiales que se usan en la fabricación del producto (Leiva, 2016).
- Energía: Se engloba a los combustibles y electricidad consumida en la producción.
- Emisiones a la atmosfera: se refiere a todas las emisiones contaminantes de forma gaseosa (Leiva, 2016).

- Descargas al agua y suelo: Para el agua se considera las de fuentes puntuales o difusas, descargas al suelo se considera todos los residuos y sustancias que van directamente al suelo (Leiva, 2016).

### 3.4.4 Evaluación de impacto de ciclo de vida.

Durante esta etapa, utilizando los resultados del análisis de inventario, se evalúa la importancia de los potenciales impactos ambientales reales generados por las entradas y salidas del sistema; en forma general, lo que se busca es la asociación de datos de inventario con las categorías de impacto e indicadores del producto teniendo en cuenta cuatro etapas que son: clasificación, caracterización, moralización y valoración (Leiva, 2016).

Para la evaluación de impacto se tienen las siguientes categorías:

*Tabla 1. Categorías de evaluación de impacto*

<b>Categorías</b>	<b>Impacto básicas</b>	<b>Impacto específicas</b>	<b>Otras</b>
<b>1</b>	Agotamiento de recursos abióticos	Impactos de uso de suelo	Agotamiento de recursos bióticos
<b>2</b>	Impactos de uso de suelo	Ecotoxicidad	Dsecación
<b>3</b>	Cambio climático	Impacto de radiación ionizante	Malos olores en agua
<b>4</b>	Agotamiento del Ozono estratosférico	Olor	
<b>5</b>	Toxicidad en humanos	Ruido	
<b>6</b>	Ecotoxicidad	Calor residual	



7	Formación de Accidentes fotooxidantes
8	Acidificación
9	Eutrofización

**Nota.**Fuente: (Leiva, 2016)

Elaborado por: Tocto, 2019

- Clasificación: Es la categorización de las cargas ambientales en función de los efectos que producen, entre ellas tenemos: consumo de recursos, calentamiento global, destrucción de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, toxicidad de metales pesados, toxicidad por smog invernal, toxicidad de smog fotoquímico y generación de residuos sólidos y líquidos (Leiva, 2016).
- Caracterización: Consiste en el cálculo del efecto ambiental de cada compuesto, sin depender de la cantidad de contaminante sino de su potencial capacidad de causar algún daño (Leiva, 2016).
- Normalización: Se calcula tomando como referencia el volumen existente de cada uno de los compuestos contaminantes, de esta manera se establece que el factor de normalización para cada tipo de impacto es el inverso al nivel de sustancia equivalente por habitante, la normalización es necesaria pues los valores obtenidos están expresados en diferentes unidades para tener una mejor comparación e interpretación (Leiva, 2016).
- Valoración: Determina que efecto es el que causa menor impacto teniendo como referencia el ciclo completo, se determina la importancia atribuyéndoles valores para poder interpretarlos en términos cuantitativos (Leiva, 2016).



Figura 5: Elementos de la fase de evaluación del ACV

Fuente: (Leiva, 2016)

### 3.4.5 Interpretación.

Es una evaluación sistemática de todas las cargas ambientales en combinación de los resultados de las dos etapas anteriores, con la finalidad de extraer, de acuerdo a los objetivos y alcance del estudio, conclusiones y recomendaciones las cuales pueden incluir medidas cualitativas y cuantitativas que permitan la toma de decisiones de mejoras (Leiva, 2016).

Los aspectos que se deben tomar en cuenta al momento de realizar la interpretación de los resultados son: datos de inventario, categorías de impacto y contribuciones significativas. Para esto se puede emplear los siguientes métodos:

### 3.4.6 Análisis de contribución.

Se examina la contribución de cada una de las etapas descritas en el proceso aplicándolo al resultado final, mediante el uso de porcentajes, y se lo puede clasificar de la siguiente manera:

*Tabla 2.* Análisis de contribución ACV

<b>A</b>	<b>Contribución &gt; 50%</b>	<b>Influencia Significativa</b>
<b>B</b>	25% < Contribución < 50%	Influencia Relevante
<b>C</b>	10% < Contribución < 25%	Influencia Bastante Importante
<b>D</b>	2.5% < Contribución < 10%	Influencia Menor
<b>E</b>	Contribución > 2.5%	Influencia Despreciable

**Nota.** Fuente: (Leiva, 2016)

Elaborado por: Tocto, 2019

### 3.4.7 Análisis de la influencia.

Se examina la posibilidad de influir en cada aspecto ambiental que se presenta, representado mediante la siguiente tabla.

*Tabla 3.* Análisis de Influencia ACV

<b>A</b>	Control significativo, grandes mejoras posibles
<b>B</b>	Control escaso, algunas mejoras posibles
<b>C</b>	Sin control

**Nota.** Fuente: (Leiva, 2016)

Elaborado por: Tocto, 2019

## 3.5 Huella de carbono

Se establece como la cantidad total de GEIs (Gases de Efecto Invernadero) causados directa o indirectamente por una organización, producto, evento o servicio

determinando su contribución al cambio climático. Por lo tanto, un inventario de GEIs, se mide en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (t CO<sub>2</sub> eq.) incluyendo todos los Gases de Efecto Invernadero que emite en cada una de las actividades que se realizan durante el ciclo de vida del producto (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).

Existen varias metodologías para el cálculo de la huella de carbono, a continuación se presentan algunas de las normas y metodologías:

- Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol). Desarrollado por World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiales) y World Business Council for Sustainable Development (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible), es uno de los protocolos más utilizados a escala internacional para cuantificar emisiones (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).
- UNE-ISO 14064-1. De acuerdo con el GHG Protocol especifica los principios y requisitos, a nivel de organización, para la cuantificación y el informe de emisiones y remociones de GEI. Las otras partes de esta norma se dirigen, por un lado, a proyectos sobre GEI específicamente diseñados para reducir las emisiones de GEI o aumentar la remoción de GEI (ISO 14064-2) , validación y verificación de los GEI declarados (ISO 14064-3) (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).
- UNE-ISO 14065: 2012. Requisitos para los organismos que realizan la validación y la verificación de GEI, para su uso en acreditación u otras formas de UNE-ISO 14069: 2013. Cuantificación e informe de GEI

para organizaciones. Constituye la guía para la aplicación de la ISO 14064-1 (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).

- IPCC 2006 GHG Workbook. guía para calcular GEI de diferentes fuentes y sectores, incluye una lista de factores de emisión. Se creó con el fin de orientar en la cuantificación de las emisiones de GEI de los inventarios nacionales. Si no se dispone de factores de emisión específicos, el IPCC 2006 GHG Workbook proporciona factores de emisión genéricos que pueden servir para calcular la HC de una organización (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).
- Bilan Carbone: La Agencia Francesa del Medio Ambiente y Gestión de la Energía elaboró en 2004 esta herramienta metodológica dedicada a la medición de emisiones de GEI. Se basa en GHG Protocol e ISO 14064(Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).
- Indicadores GRI (Global Reporting Initiative): Establece un marco de trabajo con un lenguaje uniforme y parámetros comunes que sirvan para comunicar de una forma clara y transparente las cuestiones relacionadas con la sostenibilidad a través de las denominadas Memorias de Sostenibilidad. Las Memorias comprenden información en la que se encuentran los Indicadores de desempeño: indicadores que permiten disponer de información comparable respecto al desempeño económico, ambiental y social de la organización(Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).

- ISAE 3410: norma internacional sobre Contratos de Aseguramiento de Informes de Gases de Efecto Invernadero (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).

### **3.5.1 Determinación de la huella de carbono.**

La Huella de carbono mide los GEI emitidos de un producto durante su ciclo de vida, desde el momento mismo de la extracción de las materias primas para su elaboración hasta su etapa de uso y desecho siendo depositado, reutilizado o reciclado. Para realizar la determinación de la huella de carbono de un producto agroecológico como convencional, se comprobarán las cantidades exactas de CO<sub>2</sub> emitidos, evaluando el grado de emisión de GEI expresado en toneladas (t) de CO<sub>2</sub> eq. de un cultivo o por cantidad de producto según como se haya definido la unidad funcional del sistema en estudio (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016). Para elaborar estudios de Huella de Carbono se tuvieron que realizar guías que orienten y encaminen a resultados efectivos, entonces The Greenhouse Gas Protocol (GHG) es una de las primeras guías a nivel internacional, la que se establece como una herramienta para la estimación, cuantificación y gestión de los gases de efecto invernadero (GEI); la misma que se utiliza en la estimación de efectos sobre el ambiente como también en la mejora de empresas y sus procesos para la competición a nivel global (Roig, 2017). Es por eso que es la herramienta seleccionada en el presente estudio para la elaboración de la huella de Carbono siguiendo las siguientes directrices.

### **3.5.2 Tipos de emisiones.**

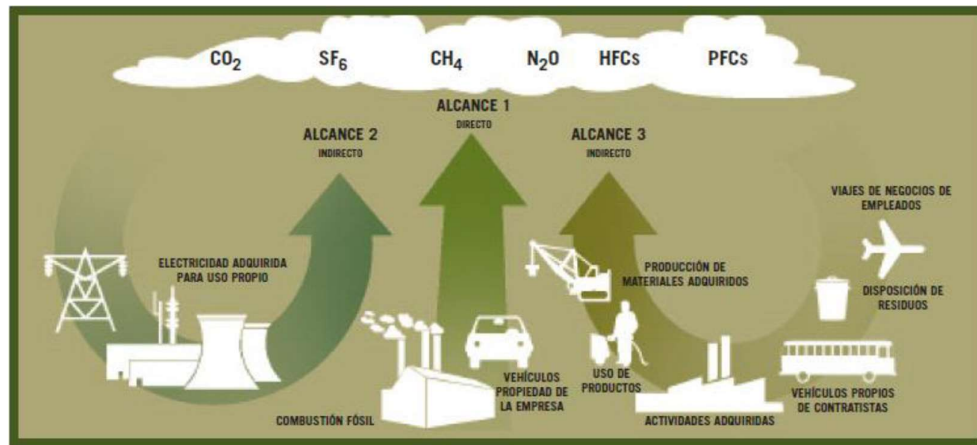
- **Emisiones Directas:** Son aquellas emisiones que son liberadas directamente en el lugar donde se produce el producto o actividad

(Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).

- **Emisiones Indirectas:** Son aquellas que no son propiedad de la organización que son generadas de forma indirecta o en un lugar diferente del punto de producción de la actividad (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).

### 3.5.3 Alcances.

- **Alcance 1:** Emisiones directas de gases de efecto invernadero, incluye las emisiones procedentes de la combustión de combustibles fósiles que posee la organización (Roig, 2017).
- **Alcance 2:** Emisiones indirectas asociadas a la generación de electricidad, incluye las emisiones producidas de la generación de la electricidad adquirida y gestionada ocurren en la instalación donde se genera la electricidad (Roig, 2017).
- **Alcance 3:** Otras emisiones Indirectas, es la consecuencia de las actividades de la empresa u organización de producir actividades, pero no son propiedades ni están controlados por ellas ya que son realizados por terceros (Roig, 2017).



*Figura 6:* Esquema de los elementos que componen cada alcance

Fuente: (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016)

Según (Carlsson-Kanyama, 2014), que realizó una comparación entre lo producido localmente versus los alimentos importados, en la cual hay una clara diferencia puesto que los altos rendimientos son notorios de 30 a 50 kg/m<sup>2</sup> en un sistema convencional mientras que de 7 a 13 kg/m<sup>2</sup> en un sistema agroecológico. Como los altos rendimientos son notorios, las emisiones de gases de efecto invernadero también lo son, ya que en el sistema convencional produce de 5 a 7 veces más kg de CO<sub>2</sub> equivalente en comparación con el sistema agroecológico. Es claro que los beneficios de la producción local o convencional son más amigable con el medio ambiente debido los ciclos cortos de producción. Aunque un sistema convencional no produce el mismo rendimiento que el sistema agroecológico, se está teniendo un mayor cuidado ambiental.

Es importante reconocer que las diferentes formas de producción contribuyen o no a la reducción de los efectos ambientales, en esta investigación se muestran dos panoramas claros, uno que son las prácticas agrícolas convencionales y otro las practicas orgánicas. Los resultados que se obtuvieron en las diferentes categorías son



de 122,32 g CO<sub>2</sub> eq. en el sistema convencional, mientras que en el sistema orgánico es de 79,62 g CO<sub>2</sub> eq. Se muestra claramente que el sistema agroecológico por sus ciclos cortos de producción es sustentable con el ambiente (Trujillo & Trujillo, 2016).

### **3.6 Huella hídrica**

Es un indicador del consumo y contaminación directo e indirecto de agua dulce, en términos de volúmenes de agua que se incorpora a un producto durante un tiempo determinado; y que indica el consumo en cantidad de volumen de uso y contaminación dada en un área geográfica o lugar determinado de estudio (Universidad Politecnica de Cataluña, 2011). Para mejorar el estudio y la investigación de esta herramienta existe una organización que ha liderado significativamente la estandarización del concepto, metodología de cuantificación y la guía de aplicación de evaluación, que es la Water Footprint Network (WFN), que ha publicado guías conceptuales y metodológicas que sirven como base en la mayor parte de la aplicación de este método (CTA, 2013).

#### **3.6.1 Determinación de la huella hídrica.**

El concepto determina el consumo de agua durante la cadena de producción de un producto, bien o servicio, mostrando los datos de consumo de agua según el origen y la contaminación generada. Dentro de la huella hídrica se puede identificar tres componentes según el estudio que se realice, se tomará cada uno de ellos para su estudio (CTA, 2013).

- **Huella Hídrica Verde:** Es el consumo de agua lluvia que se utiliza dentro del cultivo y que no se convierte en escorrentía (Water Footprint Network, n.d.)

- **Huella Hídrica Azul:** Se refiere al consumo de agua dulce superficial o subterránea en la cadena de producción de un producto, bien o servicio; principalmente en la pérdida de agua de acuíferos de la zona ocurriendo cuando el agua se evapora, no regresa al mismo cuerpo de donde se extrajo el agua, es dispuesta en el mar o se incorpora a un producto (Water Footprint Network, n.d.).
- **Huella Hídrica Gris:** Esta definida como el volumen de agua que se requiere para asimilar la carga de contaminantes provenientes de la elaboración del producto en estudio dadas las concentraciones estándares y de calidad ambiental (Water Footprint Network, n.d.).
- **Huella Hídrica Indirecta:** Es toda el agua contaminada e incorporada en la cadena de producción (Water Footprint Network, n.d.).

Tomando como referencia el estudio “Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras” se debe tener en cuenta que se consume y contamina el agua ya sea de forma directa e indirecta por medio de las actividades de producción y comercialización de productos de consumo como el tomate. Es así que se introduce el concepto de huella hídrica para poder evaluar cuánta agua se consume en el ACV en este caso en la fase de producción es en donde se consumen 0,3 litros por kilogramo de agua para la producción de un kilogramo de tomate agroecológico (Bolaños, 2011).

### **3.7 Etapas de Estudio**

#### **3.7.1 Fase de procesamiento.**

Esta fase de estudio, comprende la recepción de materia donde los productos son transportados del campo al área de procesamiento, siendo tratados, lavados y clasificados cuidadosamente, separando los productos defectuosos de los que se encuentran en buenas condiciones, posteriormente son empacados y almacenados para su distribución (FAO, 2007). La diferencia que existe en esta fase para los cultivos agroecológicos versus los convencionales es la tecnificación de los procesos unitarios.

#### **3.7.2 Fase de distribución.**

La distribución, comienza una vez que los alimentos almacenados son llevados a los trasportes, estos deben conservar la temperatura ideal de los productos, por tal razón, están equipados para mantener la cadena de frío y así poder desplazarse a los diferentes puntos de venta (FAO, 2007). Para un cultivo convencional la distribución es a gran escala, recorriendo grandes distancias y en el caso de los agroecológicos se lo realiza localmente usando pequeños transportes.

#### **3.7.3 Fase de acceso.**

La fase de acceso, es aquella donde los productos son comercializados a los diferentes clientes (FAO, 2007). Los productos convencionales son distribuidos en grades cadenas a comparación con los cultivos agroecológicos que son comercializados en ferias y mercados.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Materiales

Para el desarrollo del presente trabajo, en la fase de campo y gabinete se empleó materiales y equipos los cuales ayudaron a la toma, recopilación y procesamiento de datos.

*Tabla 4.* Materiales y equipos empleados.

Nº	Materiales	Equipos
1	Materiales de oficina	Celular
2	Recipiente graduado	Computador

Elaborado por: Tocto, 2019

### 4.2 Métodos

El presente estudio se lo realizó en dos zonas, la primer zona donde se realizó la parte agroecológica, se desarrolló en el Centro Nacional Intercultural para la Capacitación Agroecológica (CINCA), que está ubicado en la provincia de Pichincha en el cantón Pedro Moncayo cerca de la ciudad de Tabacundo, ubicada a 2700 msnm aproximadamente con un clima andino que no supera los 15 °C. Cuenta con una granja de más de una hectárea, brinda capacitación en temas de suelo, ahorro de semillas, producción de biofertilizantes y control de plagas con biopesticidas, construcción con biomateriales. Además de todos los beneficios antes mencionados, brinda asistencia técnica a familias de la comunidad los cuales reciben apoyo en ciclos de producción, diseño de sus fincas, cultivos de cobertura, cronograma de los ciclos de producción, ciclos de distribución, cómo tasar productos, acercarse a nuevos proveedores y

comercializar productos. Compran productos de calidad a los agricultores de la zona ya que tienen constante demanda de alimentos libres de contaminantes.

Como segunda zona, se realizó la parte convencional en la ciudad de Cayambe a 2800 msnm aproximadamente con un clima andino que no sobrepasa los 14 °C, donde se pudo recabar información relevante de cada uno de los procesos que se llevan a cabo para las fases en estudio; la misma que a breves rasgos es una empresa que brinda servicios de distribución de frutas y verduras a los principales supermercados.

Para el desarrollo del trabajo en ambos casos se realizaron múltiples visitas para determinar el modo y cronograma de trabajo utilizado para la recopilación de información, una vez establecido el cronograma de trabajo, posteriormente se inició con la toma de datos en el cual se procedió a hacer el respectivo análisis de inventario; estableciendo las entradas y salidas de cada uno de los procesos, obteniendo como resultado un mapa de actividades con sus respectivos inputs y outputs. Se cuantifico cada uno de los materiales que ingresaban y salían de los respectivos procesos, para el cálculo se seleccionó la unidad funcional del sistema que es de 1 kg de producto para la elaboración de las respectivas huellas y finalmente las emisiones fueron clasificadas según la norma establecida como directas e indirectas, con lo que se procedieron a elaborar las hojas de cálculo con cada uno de los alcances para los procesos descritos.

#### **4.2.1 Cálculo huella de carbono.**

Para el cálculo de los GEI se utilizó el factor de emisión que le corresponda a cada fuente, estos factores relacionan las emisiones por actividad generando resultados precisos de emisiones. Este resultado se da en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, en los que se toma como referencia el potencial que tiene cada gas para generar calentamiento

(Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016). Para la determinación de CO<sub>2</sub> equivalente se lo hace mediante la siguiente formula:

$$E = A \times Fe$$

Donde:

E: Emisión de GEI, expresado en Ton CO<sub>2</sub> equivalente

A: Actividad, aquella que genera las emisiones expresado en Kg, L, KW, etc.

Fe: Fuente de Emisión, cantidad de GEI por parámetro expresado en Kg CO<sub>2</sub>/Kg, L, KW, etc. (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).

#### **4.2.2 Hojas para elaboración de cálculos.**

Las unidades de los factores de emisión se escogió en función de los datos obtenidos en campo para cada actividad, como algunos ejemplos de gases que contribuyen al cálculo de la Huella de Carbono son: Dioxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido de Nitrógeno (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorocarbonos (HFCs), Perfluorocarbonos (PFCs), Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) y, Trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>). Sin embargo, el CO<sub>2</sub> es el GEI que influye en mayor medida es por ello que las emisiones se miden en función de este gas. La t CO<sub>2</sub> eq. es la unidad universal de medida que indica el potencial de calentamiento atmosférico o calentamiento global (Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, 2016).

A continuación se presentan los formatos que se utilizó durante el estudio, tanto para los cultivos agroecológicos como convencionales.

Tabla 5. Hoja de cálculo para el alcance 1 dentro de la huella de carbono

ALCANCE	Consumo	Consumo	Fe	Total de		Total de		Total de
1	(L)	(TJ)	(t CO <sub>2</sub> /TJ)	emisiones (t CO <sub>2</sub> )	Fe (t CH <sub>4</sub> /TJ)	emisiones (t CH <sub>4</sub> )	Fe (t N <sub>2</sub> O/TJ)	emisiones (t N <sub>2</sub> O)
<b>Producto</b>								
<b>Total Alcance</b>								
<b>1</b>								

**Nota.** Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 6. Hoja de cálculo para el alcance 2 dentro de la huella de carbono

ALCANCE 2	ENERGÍA	Consumo (MWh)	Fe (t CO <sub>2</sub> /MWh)	Total emisiones (t CO <sub>2</sub> )
<b>Producto</b>				
<b>Total de Alcance 2</b>				

**Nota.** Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 7. Hoja de cálculo para el alcance 3 dentro de la huella de carbono

ALCANCE	Consumo	Consumo	Fe	Total de		Total de		Total de
3	(L)	(TJ)	(t CO <sub>2</sub> /TJ)	emisiones (t CO <sub>2</sub> )	Fe (t CH <sub>4</sub> /TJ)	emisiones (t CH <sub>4</sub> )	Fe (t N <sub>2</sub> O/TJ)	emisiones (t N <sub>2</sub> O)
<b>Producto</b>								
<b>Total Alcance</b>								
<b>3</b>								

**Nota.** Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 8. Suma total los alcances para el total de la huella de carbono

TOTAL	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	TOTAL
HUELLA DE				
CARBONO				
				t CO <sub>2</sub> eq.

**Nota.** Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019



### 4.2.3 Cálculo huella de hídrica.

Para la aplicación de la Huella Hídrica, una vez obtenida la base de datos en la que se recopiló la información generada durante proceso productivo. Se identificó la información clave y sus posibles fuentes. Esta metodología permitió estimar el impacto de una actividad humana en términos de apropiación del recurso hídrico, generando una influencia clara y directa en la valoración local del agua y el potencial conflicto por uso, siendo geográficamente explícito en sus resultados. Esta apropiación humana implica una pérdida en la disponibilidad del recurso agua, por ausencia de volumen o por falta de calidad mínima para ser utilizada. En estas dos variables se encuentra concentrada la cuantificación de la Huella Hídrica por medio de sus componentes, las Huellas Hídricas Verde, Azul, Gris e Indirecta (CTA, 2013).

La Huella Hídrica será expresada en unidades de volumen de agua por unidad de masa, por lo general  $m^3/t$ , en general se utiliza esta forma para el sector agrícola (CTA, 2013). Se puede cambiar las unidades en función de los requerimientos del estudio para una mejor comprensión.

$$Huella\ Hídrica = Z \frac{m^3}{kg}$$

### 4.2.4 Interpretación.

Se describe en el capítulo siguiente mediante el análisis de contribución, la permitió realizar una comparación de las categorías y sus contribuciones de contaminantes al ambiente mediante el uso de porcentajes.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Huella de carbono

#### 5.1.1 Huella de carbono agroecológica para para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*).

En las siguientes tablas y figuras, se muestran los datos recolectados en campo para el cálculo de la huella de carbono agroecológica de las tres fases en estudio, se muestran mapas de procesos con su respectivos inputs y outputs con la descripción de cada uno de ellos; además de la cuantificación total para este ítem. Cabe señalar, que tanto para el tomate (*Solanum lycopersicum*) y la zanahoria (*Daucus carota L.*) los procesos unitarios son los mismos así que se realiza una descripción para los dos casos y al final se realiza el respectivo desglose de cada cultivo en estudio.

##### 5.1.1.1 Fase de procesamiento para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*).

La fase de procesamiento agroecológica es de vital importancia dentro del proceso de elaboración de los productos, ya que aquí se separan los productos defectuosos y además se clasifica los productos para la posterior entrega a los clientes, se compone de 4 operaciones que son: recepción de materia prima, lavado del producto, clasificación, empaclado y almacenamiento.

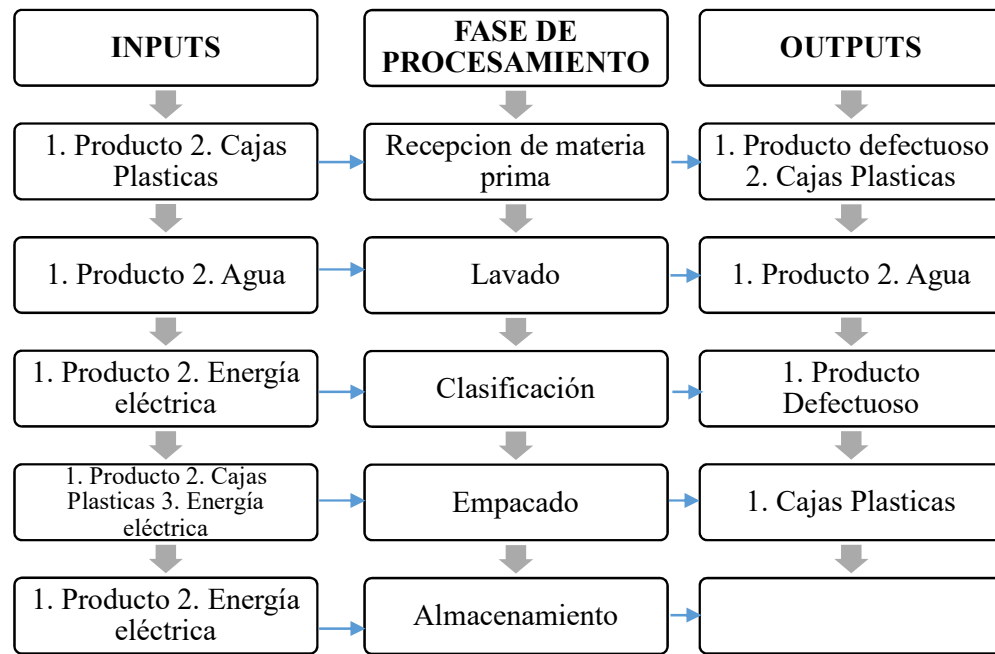


Figura 7: Esquema de entradas y salidas fase de procesamiento agroecológico (zanahoria y tomate)  
Elaborado por: Tocto, 2019

Cada una de las actividades de la fase de procesamiento descritas en la Figura 7 se detalla de acuerdo a las observaciones y toma de datos realizados en campo, como se muestra a continuación.

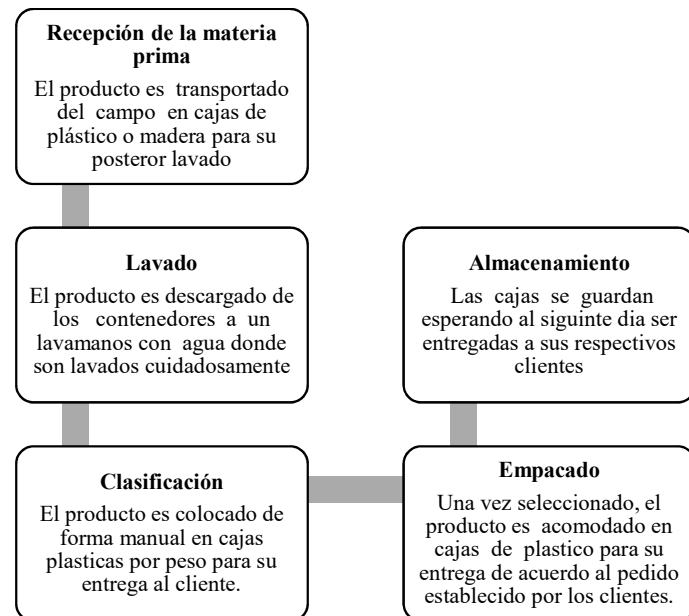


Figura 8: Descripción de los procesos en la fase de procesamiento agroecológico (zanahoria y tomate)

Elaborado por: Tocto, 2019

Para determinar el alcance 2, que se refiere al empleo de energía eléctrica se lo realiza en la fase de procesamiento solamente, ya que es la única que consume energía eléctrica.

*Tabla 9.* Hoja de cálculo para el alcance 2 fase de procesamiento huella de carbono agroecológica (zanahoria y tomate)

ALCANCE 2	ENERGÍA	Consumo (MWh)	Fe (t CO2/MWh)	Total emisiones (t CO2)
	Eléctrica	3x10-4	0.7079	2.1237x10-4
<b>Total de Alcance 2</b>			2.1237x10-4	

**Nota.**Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

*Tabla 10.* Total de la huella de carbono agroecológica fase procesamiento (zanahoria y tomate)

TOTAL HUELLA DE CARBONO PROCESAMIENTO	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	TOTAL
	0	2.1237x10-4	0	<b>0.000212 t CO2 eq.</b>

**Nota.**Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

#### **5.1.1.2 Fase de distribución para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota* L.).**

La fase de distribución agroecológica, es aquella que una vez clasificado el producto es colocado en el camión para su transporte y posteriormente se traslada a los diferentes clientes dentro del Distrito Metropolitano de Quito donde los restaurantes gourmet son los mayores consumidores de estos productos orgánicos. La misma consta de los siguientes procesos: cargado del producto, traslado y descarga.

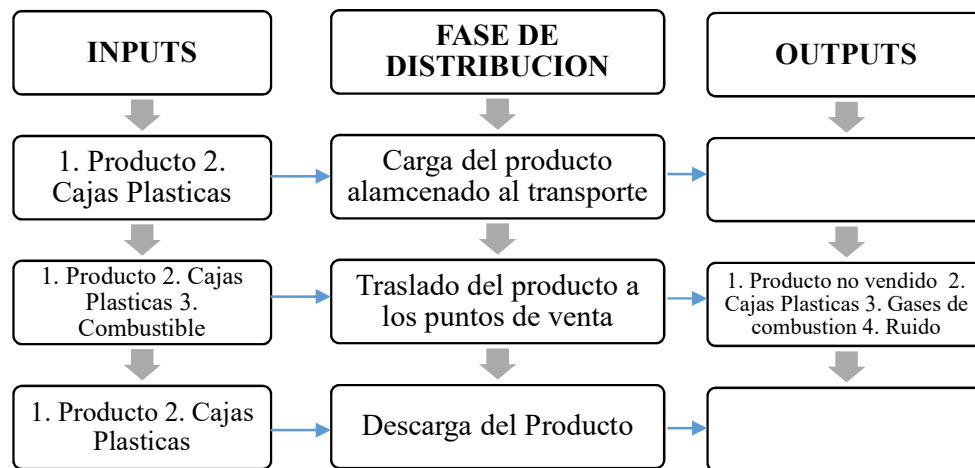


Figura 9: Esquema de Entradas y salidas fase de Distribución Agroecológico (zanahoria y tomate)

Elaborado por: Tocto, 2019

Cada una de estas actividades de la fase de distribución se la describe en la siguiente figura.

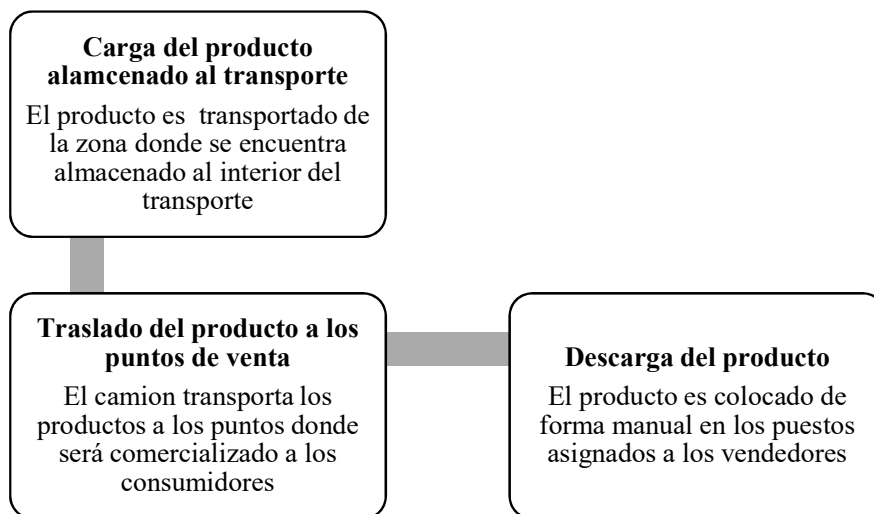


Figura 10: Descripción de los procesos en la fase de Distribución Agroecológico (zanahoria y tomate)

Elaborado por: Tocto, 2019

En esta fase, se emplea el Alcance 3 que se refiere al empleo de combustibles ya que se utiliza un transporte que ocupa este insumo, entonces el consumo de combustible es de 30 litros de diésel semanales los cuales son usados para el transporte de los productos a los diferentes puntos de entrega dentro de la ciudad del Distrito Metropolitano de Quito y sus parroquias. En este caso, solo se utiliza el Alcance 3 que se describe a continuación con la siguiente tabla de cálculo.

Tabla 11. Hoja de cálculo para el alcance 3 fase de distribución huella de carbono agroecológica (zanahoria y tomate)

ALCANCE	Consumo	Consumo	Fe	Total de		Total de		Total de
3	(L)	(TJ)	(t CO <sub>2</sub> /TJ)	emisiones (t CO <sub>2</sub> )	Fe (t CH <sub>4</sub> /TJ)	emisiones t CH <sub>4</sub> (25)	Fe t N <sub>2</sub> O/TJ	emisiones t N <sub>2</sub> O (298)
DIÉSEL	30	1.2282x10- 3	74.1	0.09100	0.00415	1.27425x10-4	0.0286	0.01046
<b>Total Alcance</b>					0.1015			
<b>3</b>								

**Nota.** Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 12. Total de la huella de carbono agroecológica fase distribución (zanahoria y tomate)

TOTAL HUELLA DE CARBONO DISTRIBUCIÓN	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	TOTAL
	0	0	0.015	<b>0.015 t CO<sub>2</sub> eq.</b>

**Nota.** Fuente: (Vilches, 2007)

Elaborado por: Tocto, 2019

### 5.1.1.3 Fase de acceso para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota* L.).

La fase de Acceso agroecológica es aquella en la que se realiza la venta al público del producto.

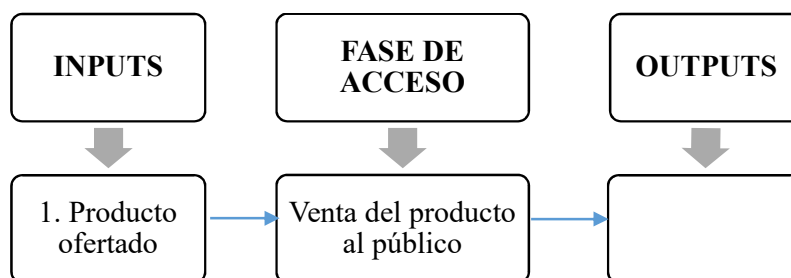


Figura 11: Esquema de Entradas y salidas fase de Acceso Agroecológico (zanahoria y tomate)

Elaborado por: Tocto, 2019

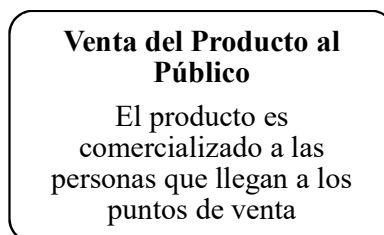


Figura 12: Descripción de los procesos en la fase de Acceso Agroecológico (zanahoria y tomate)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 13. Total de la huella de carbono agroecológica fase acceso (zanahoria y tomate)

TOTAL	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	TOTAL
<b>HUELLA DE CARBONO ACCESO</b>	0	0	0	<b>0 t CO<sub>2</sub> eq.</b>

**Nota.** Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019



En esta última fase, no se elabora el cálculo de ningún alcance ya que no se utiliza ningún recurso como fundas plásticas, bolsas de papel, etc. El cálculo total de la huella de carbono agroecológica se la muestra en la Tabla 13 tomando en cuenta los alcances y límites descritos anteriormente en la metodología, obteniendo un resultado final expresado en toneladas de CO2 equivalentes; haciendo un desglose final para el tomate (*Solanum lycopersicum*) y la zanahoria (*Daucus carota L.*).

Tabla 14. Suma total de la huella de carbono agroecológica de los tres alcances (zanahoria y tomate)

TOTAL HUELLA DE CARBONO AGROECOLÓGICA (zanahoria y tomate)	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	TOTAL
	0	2.1237x10- 4	0.015	<b>0.1018 t CO2 eq.</b>

Elaborado por: Tocto, 2019

Donde 0.3638 t CO2 eq. representa tanto al tomate como la zanahoria, ya que son cosechados a la par y además se los lava y transporta en conjunto, para diferenciar y establecer la unidad funcional de 1 kg se realiza el siguiente cálculo.

$$kg \text{ de zanahoria} + kg \text{ de tomate} = kg \text{ totales de producto}$$

$$10 \text{ kg de zanahoria} + 36.5 \text{ kg de tomate} = 46.5 \text{ kg totales de producto}$$

Los 46.5 kg totales de producto representa el 100%, para un kilogramo de producto se obtiene como resultado que el 78.5% representa el tomate y el 21.5% restante representa la zanahoria. Igualmente los 0.1018 t CO2 eq. representan el 100% de las emisiones. Obteniendo los siguientes resultados de toneladas de CO2 equivalente.

$$t \text{ CO2 eq. Tomate} = \frac{0.00218 \times 78.5\%}{100\%}$$

$$t\ CO2\ eq.\ Tomate = 0.0017$$

$$t\ CO2\ eq.\ Zanahoria = \frac{0.00218 \times 21.5\%}{100\%}$$

$$t\ CO2\ eq.\ Zanahoria = 0.0004$$

Ahora se establece la relación de toneladas de CO2 eq, para la unidad funcional establecida anteriormente que es de 1 kg de producto, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 15. Total huella de carbono agroecológica para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*)

	<b>Tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i>)</b>	<b>Zanahoria (<i>Daucus Carota L.</i>)</b>
<b>TOTAL HUELLA DE CARBONO AGROECOLÓGICA</b>	0.0017 t CO2 eq.	0.0004 t CO2 eq.
	ó	ó
	1700 g CO2 eq.	400 g CO2 eq.

Elaborado por: Tocto, 2019

### 5.1.2 Huella de carbono convencional para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*).

En las siguientes tablas y figuras, se muestran los datos recolectados en campo para el cálculo de la huella de carbono convencional de las tres fases en estudio, se muestran mapas de procesos con su respectivos inputs y outputs con la descripción de cada uno de ellos; además de la cuantificación total para este ítem. Igual que en el caso anterior los procesos en la producción de estas hortalizas son los mismos, así que, se realiza una sola descripción del mapa de procesos para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*) en conjunto y al final se realiza un desglose para cada cultivo.

### 5.1.2.1 Fase de procesamiento para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota* L.).

La fase de procesamiento convencional, es aquella en donde los productos son preparados por las maquinarias existentes en planta y por el personal calificado. Se realizan las siguientes tareas: recepción de materia prima, lavado, secado, clasificación, empacado, sellado y etiquetado, y finalmente el almacenamiento del producto con estándares de calidad.

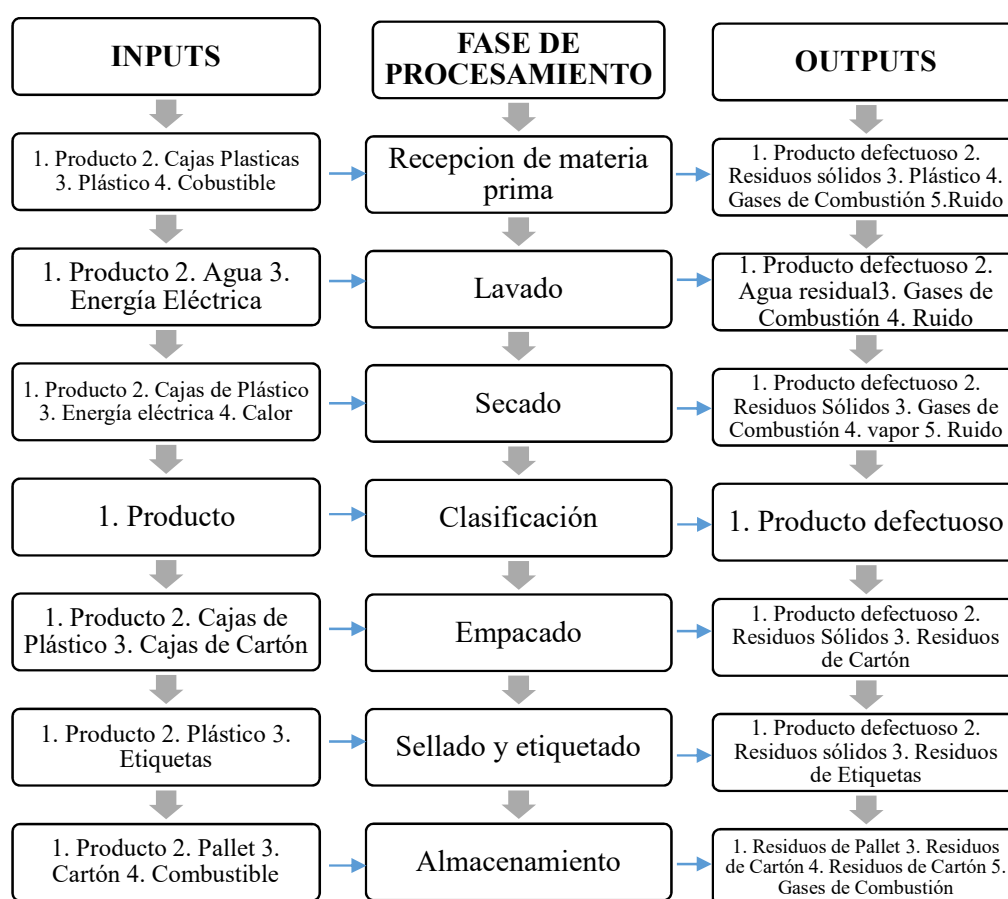
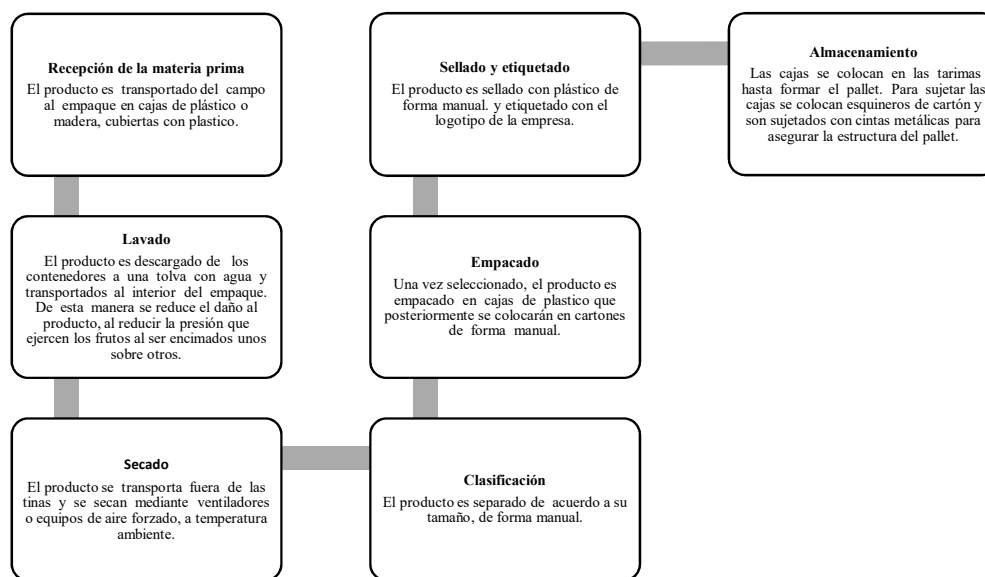


Figura 13: Esquema de Entradas y salidas fase de Procesamiento Convencional (zanahoria y tomate)

Elaborado por: Tocto, 2019

Se describe cada uno de los procesos para la elaboración de los productos, como se menciona anteriormente es para ambos ya que siguen los mismos procesos productivos.



*Figura 14:* Descripción de los procesos en la fase de Procesamiento Convencional (zanahoria y tomate)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 16. Hoja de cálculo para el alcance 1 fase de procesamiento huella de carbono convencional (zanahoria y tomate)

ALCANCE	Consumo	Consumo	Fe	Total de		Total de		Total de
1	(L)	(TJ)	(t CO <sub>2</sub> /TJ)	emisiones (t CO <sub>2</sub> )	Fe (t CH <sub>4</sub> /TJ)	emisiones (t CH <sub>4</sub> )	Fe (t N <sub>2</sub> O/TJ)	emisiones (t N <sub>2</sub> O)
						(25)		(298)
DIESEL	5.25	2.1493x10- 4	74.1	0.0159	0.00415	2.22989x10-5	0.0286	1.83180x10-4
Total Alcance					0.0446			
1								

Nota. Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 17. Hoja de cálculo para el alcance 2 fase de procesamiento huella de carbono convencional (zanahoria y tomate)

ALCANCE 2	ENERGÍA	Consumo (MWh)	Fe (t CO <sub>2</sub> /MWh)	Total emisiones (t CO <sub>2</sub> )
	Eléctrica	0.0979	0.7079	0.0693
Total de Alcance 2			0.0693	

Nota. Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 18. Hoja de cálculo para el alcance 3 fase de procesamiento huella de carbono convencional (zanahoria y tomate)

ALCANCE	Consumo	Consumo	Fe	Total de		Total de		Total de
3	(kg)	(t)	(kgCO2/kg)	emisiones (t CO2)	Fe (t CH4/t)	emisiones (t CH4)	Fe (t N2O/t)	emisiones (t N2O)
						(25)		(298)
Plástico	0.73	7.3x10-4	1	7.3 x10-4	1	0.01825	1	0.2175
Cartón	0.45	4.5x10-4	1	4.5x10-4	1	0.01125	1	0.1341
Total Alcance					0.3822			
3								

Nota. Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 19. Total de la huella de carbono convencional fase procesamiento convencional (zanahoria y tomate)

TOTAL HUELLA DE CARBONO PROCESAMIENTO	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	TOTAL
	0.0446	0.0693	0.3822	0.4961 t CO2 eq.

Nota. Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

### 5.1.2.2 Fase de distribución para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota* L.).

En esta fase el producto es clasificado y empacado, se procede a cargar a los diferentes container para su entrega en los distintos centros de abasto para su posterior entrega al cliente. Dentro de los procesos tenemos: carga del producto en transporte, traslado del producto desde la planta a los puntos de venta y descarga del producto en estos puntos.

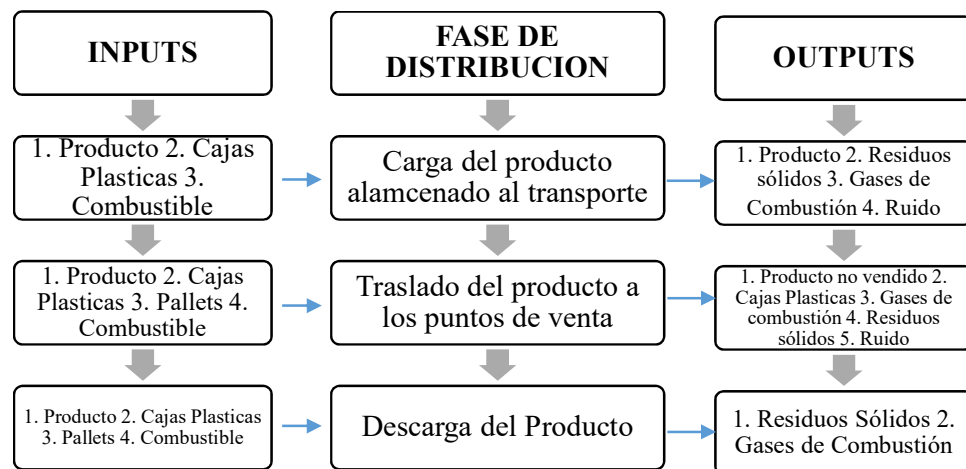
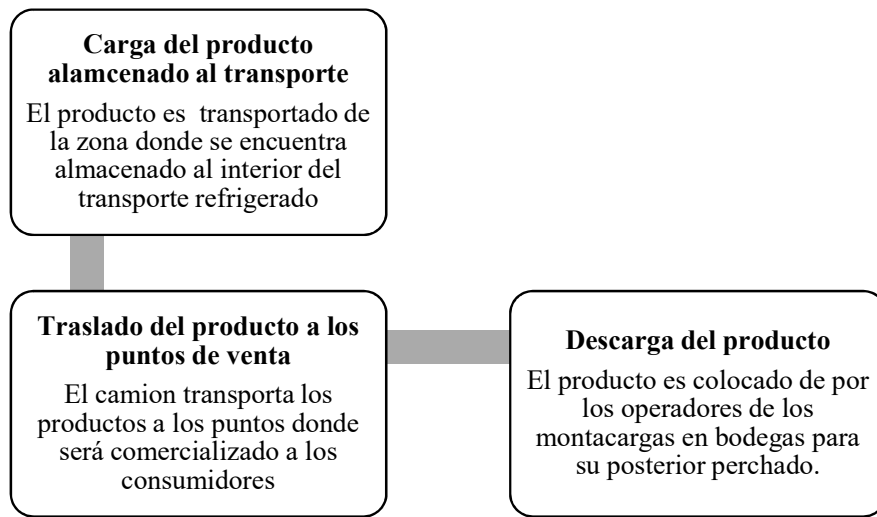


Figura 15: Esquema de Entradas y salidas fase de Distribución Convencional (zanahoria y tomate)

Elaborado por: Tocto, 2019

Los procesos descritos a continuación obedecen a la investigación y observación dentro de la planta de elaboración de los productos en estudio.



*Figura 16:* Descripción de los procesos en la fase de Distribución Convencional (zanahoria y tomate)

Elaborado por: Tocto, 2019



Tabla 20. Hoja de cálculo para el alcance 1 fase de distribución huella de carbono convencional (zanahoria y tomate)

ALCANCE	Consumo	Consumo	Fe	Total de		Total de		Total de
1	(L)	(TJ)	(t CO <sub>2</sub> /TJ)	emisiones (t CO <sub>2</sub> )	Fe (t CH <sub>4</sub> /TJ)	emisiones (t CH <sub>4</sub> )	Fe (t N <sub>2</sub> O/TJ)	emisiones (t N <sub>2</sub> O)
						(25)		(298)
DIÉSEL	3.05	1.4867x10- 4	74.1	9.25x10-3	0.00415	1.54245x10-4	0.0286	1.27084x10-4
Total Alcance					9.53132x10-3			
1								

**Nota.** Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 21. Hoja de cálculo para el alcance 3 fase de distribución huella de carbono convencional (zanahoria y tomate)

ALCANCE	Consumo	Consumo	Fe	Total de		Total de		Total de
3	(kg)	(t)	(kgCO <sub>2</sub> /kg)	emisiones (t CO <sub>2</sub> )	Fe (t CH <sub>4</sub> /t)	emisiones (t CH <sub>4</sub> )	Fe (t N <sub>2</sub> O/t)	emisiones (t N <sub>2</sub> O)
						(25)		(298)
Plástico	0.21	2.1x10 <sup>-4</sup>	1	2.1 x10 <sup>-4</sup>	1	5.25 x10 <sup>-3</sup>	1	0.0625
<b>Total Alcance</b>					0.0679			
<b>3</b>								

**Nota.** Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 22. Total de la huella de carbono convencional fase distribución (zanahoria y tomate)

TOTAL HUELLA DE CARBONO DISTRIBUCIÓN	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	TOTAL
	9.53132x10 <sup>-3</sup>	0	0.0679	<b>0.07743 t CO<sub>2</sub> eq.</b>

**Nota.** Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

### 5.1.2.3 Fase de acceso para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota* L.).

En la fase de Acceso es donde los clientes pueden obtener los productos en los diferentes puntos de venta.



Figura 17: Esquema de Entradas y salidas fase de Acceso Convencional (zanahoria y tomate)

Elaborado por: Tocto, 2019

#### Venta del Producto al Público

El producto una vez perchado y etiquetado con los precios es comercializado en los difrentes estantes refrigerados donde los clientes escogen su preferido

Figura 18: Descripción de los procesos en la fase de Acceso Convencional (zanahoria y tomate)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 23. Hoja de cálculo para el alcance 2 fase de acceso huella de carbono convencional (zanahoria y tomate)

ALCANCE 2	ENERGÍA	Consumo (MWh)	Fe (t CO2/MWh)	Total emisiones (t CO2)
	Eléctrica	0.1158	0.7079	0.08197
<b>Total de Alcance 2</b>			0.08197	

**Nota.** Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

Tabla 24. Total de la huella de carbono convencional fase acceso (zanahoria y tomate)

TOTAL HUELLA DE CARBONO ACCESO	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	TOTAL
	0	0.08197	0	0.08197 t CO2 eq.

Nota. Fuente: (Vilches, 2017)

Elaborado por: Tocto, 2019

El cálculo de la huella de carbono convencional para las tres fases se lo realizó por separado debido a la complejidad de cada fase, tomando en cuenta los alcances descritos anteriormente en la metodología obteniendo un resultado final expresado en toneladas de CO2 equivalentes; haciendo un desglose final para el tomate (*Solanum lycopersicum*) y la zanahoria (*Daucus carota L.*).

Tabla 25. Total de la huella de carbono convencional sumatoria de las tres fases (zanahoria y tomate)

TOTAL HUELLA DE CARBONO CONVENCIONAL	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	TOTAL
	0.0541	0.1512	0.4501	0.6554 t CO2 eq.

Elaborado por: Tocto, 2019

En la Tabla 24, se muestra el resultado de la sumatoria de los alcances en las distintas fases, obteniéndose un total de 0.6554 Ton de CO2 eq. para 1kg de tomate (*Solanum lycopersicum*) y para zanahoria (*Daucus carota L.*), el proceso es exactamente el mismo, ya que teniendo los procesos tecnificados se realizan en los mismos tiempos y con la misma cantidad de insumos con la diferencia que para este producto se hace con referencia a un 20% menos en el procesamiento.

$$t \text{ CO2 eq. Tomate} = 0.6554$$

$$t\ CO2\ eq.\ Zucchini = \frac{0.6554 \times 80\%}{100\%}$$

$$t\ CO2\ eq.\ Zucchini = 0.5243$$

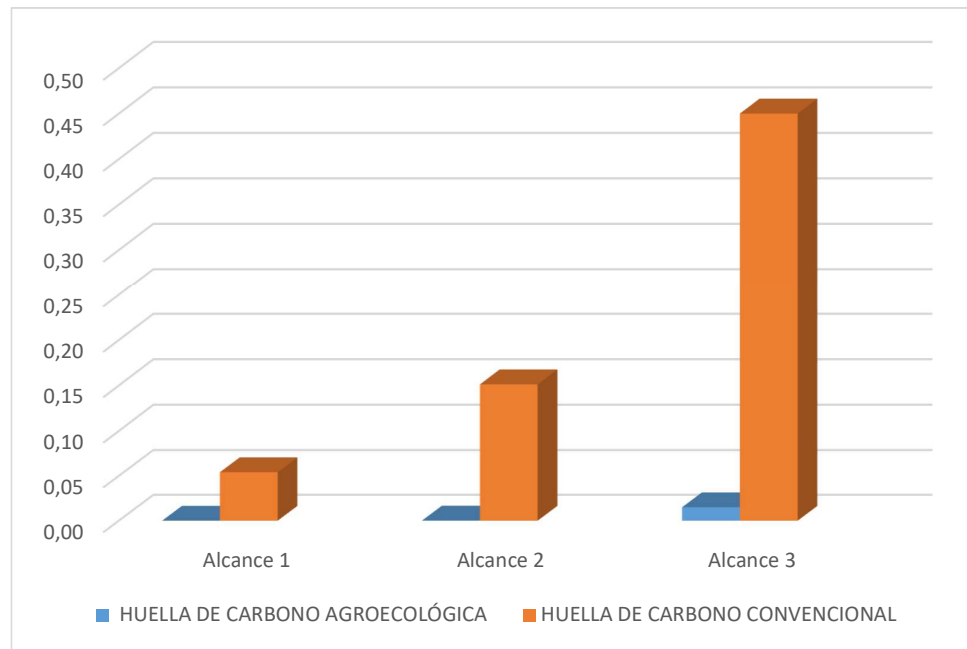
En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de la Huella de Carbono expresados en toneladas de CO2 equivalentes.

*Tabla 26. Total huella de carbono agroecológica para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*)*

	<b>Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)</b>	<b>Zanahoria (<i>Daucus carota L.</i>)</b>
<b>TOTAL HUELLA DE CARBONO CONVENCIONAL</b>	0.6554 t CO2 eq.	0.5243 t CO2 eq.
	ó	ó
	655400 g CO2 eq.	524300 g CO2 eq.

Elaborado por: Tocto, 2019

Una vez obtenidos todos los resultados se realizan gráficas para mostrar la relación entre los alcances en las fases de procesamiento, distribución y acceso de la Huella de Carbono comparando lo convencional versus lo agroecológico; tanto del tomate (*Solanum lycopersicum*) y la zanahoria (*Daucus carota L.*). Mostrando como resultado que el Alcance 3 en los productos convencionales son mayores por los insumos utilizados, siendo el menor resultado el Alcance 1 en la Huella de Carbono agroecológica como en la convencional.



*Figura 19: Relación de los Alcances de la Huella de Carbono Agroecológica vs. Convencional del Tomate (*Solanum lycopersicum*) y Zanahoria (*Daucus carota L.*)*

Elaborado por: Tocto, 2019

En la Figura 19, se muestra la relación entre los totales de la Huella de Carbono agroecológico y convencional del tomate (*Solanum lycopersicum*) frente a la zanahoria (*Daucus carota L.*); siendo la Huella de carbono convencional del tomate (*Solanum lycopersicum*) la de mayor valor. De la misma manera se puede apreciar que las Huellas de Carbono Agroecológicas son parecidas en ambos productos.

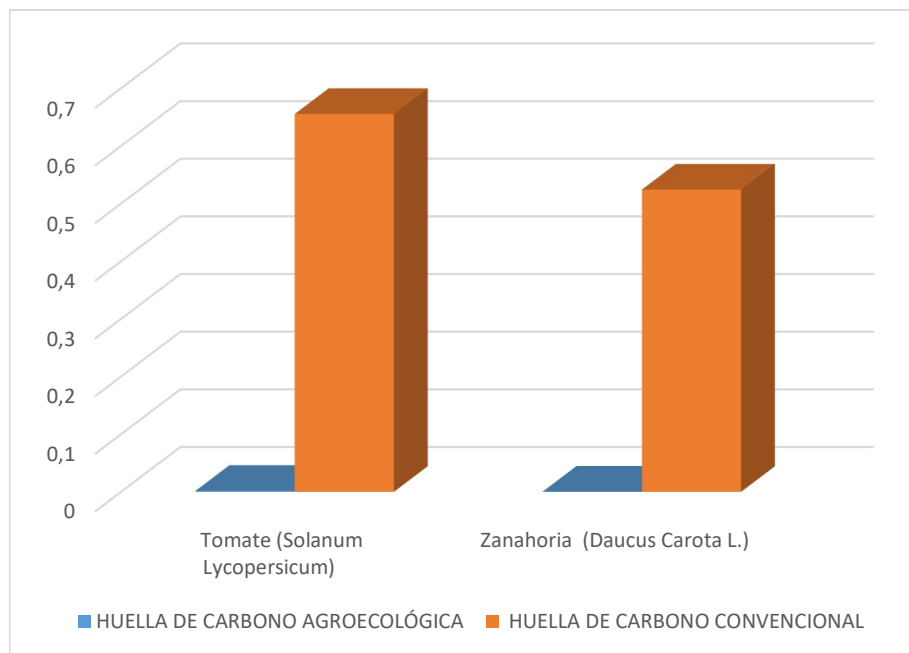


Figura 20: Huella de Carbono Agroecologica vs. Convencional del Tomate (*Solanum lycopersicum*) y Zanahoria (*Daucus carota L.*) t CO2 eq.

Elaborado por: Tocto, 2019

## 5.2 Huella Hídrica

### 5.2.1 Huella hídrica agroecológica para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*).

Para el cálculo de esta sección solamente se tomará en cuenta la fase de procesamiento ya que es la única que consume agua, la fase de distribución y acceso no utiliza este insumo.

$$Huella\ Hídrica = 0.1029m^3$$

Los 0.1029m<sup>3</sup> hacen referencia a los 46.5 kg totales de producto tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*) representa el 100%, se establece que el 78.5% representa el tomate y los 21.5% restante representa la zanahoria. Obteniendo los siguientes resultados en m<sup>3</sup> / kg producto.

$$m3 /kg \text{ Tomate} = \frac{2.2122 \times 10^{-3} \times 78.5\%}{100\%}$$

$$\text{Huella Hídrica Tomate} = 1.73 \times 10^{-3} \frac{m3}{kg}$$

$$m3 /kg \text{ Zanahoria} = \frac{2.2122 \times 10^{-3} \times 21.5\%}{100\%}$$

$$\text{Huella Hídrica Zanahoria} = 4.755 \times 10^{-4} \frac{m3}{kg}$$

Tabla 27. Total huella hídrica agroecológica para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*)

	Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	Zanahoria ( <i>Daucus carota L.</i> )
<b>TOTAL HUELLA HÍDRICA AGROECOLÓGICA</b>	0.00173 $\frac{m3}{kg}$	0.00047 $\frac{m3}{kg}$
	ó	ó
	1.73 $\frac{L}{kg}$	0.47 $\frac{L}{kg}$

Elaborado por: Tocto, 2019

### 5.2.2 Huella hídrica convencional para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*).

De la misma manera que la Huella Hídrica Agroecológica en esta sección solo se tomará como referencia la fase de procesamiento siendo la única que utiliza este insumo.

Los datos obtenidos en campo dieron como resultado que se utiliza 0.076 metros cúbicos de agua por cada kilogramo de tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*) representa un 20% menos de lo establecido para el primer producto en referencia.



Tabla 28. Total huella hídrica convencional para tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*)

	Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> )	Zanahoria ( <i>Daucus carota L.</i> )
<b>TOTAL HUELLA HÍDRICA CONVENCIONAL</b>	0.076 $\frac{m^3}{kg}$ ó 76 $\frac{L}{kg}$	0.0608 $\frac{m^3}{kg}$ ó 60.8 $\frac{L}{kg}$

Elaborado por: Tocto, 2019

En la gráfica siguiente, se muestra la relación entre los totales de la Huella Hídrica Agroecológica y Convencional del tomate (*Solanum lycopersicum*) contra la zanahoria (*Daucus carota L.*); en la cual se observa que la Huella de hídrica convencional y agroecológica del tomate (*Solanum lycopersicum*) es la de mayor valor en ambos casos.

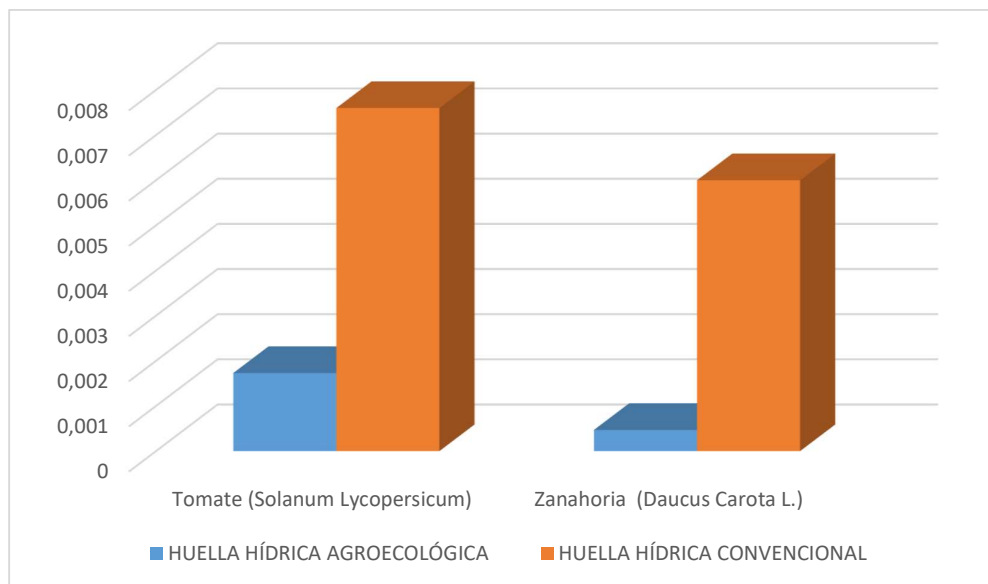


Figura 21: Huella Hídrica Agroecológica vs. Convencional del Tomate (*Solanum lycopersicum*) y Zanahoria (*Daucus carota L.*) t CO2 eq.

Elaborado por: Tocto, 2019

### 5.3 Análisis de contribución

Mediante el análisis cualitativo de los resultados se establece la influencia de cada uno de los cultivos tanto agroecológica como convencional.

Tabla 29. Análisis de contribución de los diferentes tipos de huellas con los dos productos en estudio

Huella	Tipo	Resultado	Porcentaje	Análisis de Contribución
<b>Carbono</b> <b>Tomate</b> ( <i>Solanum Lycopersicum</i> )	Agroecológica	0.0017 t CO2 eq.	0.2587	Influencia Despreciable
	Convencional	0.6554 t CO2 eq.	99.7413	Influencia Significativa
	<b>Total</b>	0.6571 t CO2 eq.	100	

<b>Carbono</b>	Agroecológica	0.0004 t CO <sub>2</sub> eq.	0.0762	Influencia
<b>Zanahoria</b>				Despreciable
( <i>Daucus</i>	Convencional	0.5243 t CO <sub>2</sub> eq.	99.9238	Influencia
<i>Carota L.</i> )				Significativa
<b>Total</b>		0.5247 t CO <sub>2</sub> eq.	100	
<b>Hídrica</b>	Agroecológica	0.00173 $\frac{m^3}{kg}$	18.6021	Influencia
<b>Tomate</b>				Bastante
( <i>Solanum</i>				Importante
<i>Lycopersicum</i> )	Convencional	0.0076 $\frac{m^3}{kg}$	81.3979	Influencia
				Significativa
<b>Total</b>		0.0093	100	
<b>Hídrica</b>	Agroecológica	0.00047 $\frac{m^3}{kg}$	7.3437	Influencia
<b>Zanahoria</b>				Menor
( <i>Daucus</i>	Convencional	0.0060 $\frac{m^3}{kg}$	92.6563	Influencia
<i>Carota L.</i> )				Significativa
<b>Total</b>		0.0064	100	

**Nota.** Fuente: (Leiva, 2016)

Elaborado por: Tocto, 2019

Como se puede observar en la tabla anterior, los resultados arrojan que en la mayoría de los casos la contribución al ambiente de contaminantes por parte de los cultivos agroecológicos son relativamente de una influencia despreciable, en contraste

con los cultivos convencionales que en su mayoría presentan una influencia significativa de contaminantes emitidos al ambiente estos resultados se dan tanto para zanahoria como tomate.

#### **5.4 Discusión**

En la hipótesis se plantea, que los productos convencionales son aquellos que van a emitir mayor cantidad de huella hídrica y de carbono, esto queda demostrado con los datos obtenidos y comprados en el presente estudio, debido a que los productos agroecológicos son alimentos que al no presentar uso de maquinarias pesadas y procesos tecnificados, evitando el excesivo y desmedido uso de materias primas y fertilizantes, se comercializan localmente, usa transporte liviano para el transporte de sus productos, todo lo mencionado anteriormente conlleva a un mayor gasto energético, por lo tanto van a producir y emitir al ambiente contaminantes responsables en su mayoría del proceso de cambio climático. Además se establece, que los productos agroecológicos presentan una mejor calidad y no solo ambiental, sino también calidad para lograr una soberanía alimentaria, mediante el uso de estos cultivos, además que sirva como base para seguir con estudios similares que demuestren la calidad de estos productos.

En el presente estudio, se estimó que las emisiones de CO<sub>2</sub> eq. entregadas por el cultivo de zanahoria agroecológica son de 400 g de CO<sub>2</sub> eq. y. para un cultivo de tomate de 1700 g CO<sub>2</sub> eq. Este dato es similar a las emisiones obtenidas por el estudio realizado en “Food Consumption Patterns and their on Influence Climate Change” puesto que en este estudio se obtuvo para zanahoria un total de 310 g CO<sub>2</sub> eq. y para tomate presentó 3100 g de CO<sub>2</sub> eq. (Carlsson-Kanyama, 2014). La variación en la cantidad de emisiones se da por la zona donde son cultivadas y por el tipo de cultivo, ya que consumir un kilogramo de producto convencional aporta en mayor medida al

cambio climático que un kilogramo de producto agroecológico. Esto se debe a que el área de cultivo del producto convencional es extensa en comparación con un cultivo agroecológico y necesita mayor consumo de recursos y energía. De la misma manera, la tecnificación de los procesos en la parte convencional contribuye significativamente a producir mayor cantidad de emisiones por el uso de energía eléctrica y derivados de petróleo como combustibles, que por el contrario en un cultivo agroecológico, se trabaja en su mayoría con mano de obra y técnicas ancestrales útiles para obtención de productos sanos aptos para el consumo humano.

En el caso del tomate, en el presente estudio se obtuvo para el sistema convencional 655400 g de CO<sub>2</sub> eq. mientras que para el sistema agroecológico es de 1700 g CO<sub>2</sub> eq. estos resultados se comparan con el estudio de “Evaluación ambiental de sistemas de producción de hortalizas en el Oriente Antioqueño a partir de análisis de ciclo de vida” los cuales fueron 122, 32 g de CO<sub>2</sub> eq. en el sistema convencional y para el sistema agroecológico 79,69 g CO<sub>2</sub> eq. (Trujillo & Trujillo, 2016). Los datos fueron obtenidos con un enfoque de la cuna a la puerta excluyendo el transporte de los productos, lo cual en el presente estudio representa la mayor contribución y es una fuente importante de emisión de CO<sub>2</sub> eq. por las grandes distancias que recorre un cultivo para llegar a su punto de comercialización, sabiendo que estas distancias difieren según el tipo de cultivo ya sea agroecológico o convencional, con lo cual se explica la diferencia en las cantidades emitidas de g CO<sub>2</sub> eq.

Tomando los datos de la presente investigación, para el cultivo de tomate agroecológico tiene una huella hídrica de 1,73 litros por kilogramo, mientras que en el estudio “Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras” el

mismo producto presenta una huella hídrica de 0,3 litros por kilogramo (Bolaños, 2011). Se observa que los datos difieren ligeramente esto se debe a las variaciones en la producción del ciclo de cultivo, clima y el lugar de producción de cada cultivo ya que este estudio se desarrolla en un país diferente tienden a variar los resultados obtenidos.

Siguiendo con la línea de estudio y para complementar el presente análisis, existen dos trabajos experimentales que preceden a este y son un complemento; donde se toma en cuenta la fase agrícola previa con datos importantes los cuales serán analizados a continuación, estos trabajos son: ESTIMACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FASE AGRÍCOLA DE LA CADENA AGROALIMENTARIA CONVENCIONAL Y AGROECOLÓGICA DE LA ZANAHORIA (*DAUCUS CAROTA*) EN LAS JUNTAS PARROQUIALES “LA ESPERANZA” Y “TABACUNDO”, CANTÓN PEDRO MONCAYO (Gavilanes, 2018) y ESTIMACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FASE AGRÍCOLA DE LA CADENA AGROALIMENTARIA CONVENCIONAL Y AGROECOLÓGICA DEL TOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM*) EN LAS JUNTAS PARROQUIALES “LA ESPERANZA” Y “TABACUNDO”, CANTÓN PEDRO MONCAYO (Taípe, 2018); se va a realizar una comparación y una sumatoria total tanto en g de CO<sub>2</sub> eq. como en volumen de agua utilizada para la elaboración por kilogramo de estos productos.

*Tabla 30:* Comparación de los datos obtenidos para la fase agrícola vs fase de procesamiento, distribución y acceso cultivo de zanahoria sistema agroecológico y convencional

<b>Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.)</b>	<b>Huella de Carbono (Fase Agrícola) g CO2 eq.</b>	<b>Huella de Carbono (Fase Procesamiento, Distribución y Acceso) g CO2 eq.</b>	<b>Total g CO2 eq./kg</b>	<b>Huella Hídrica (Fase Agrícola) L</b>	<b>Huella Hídrica (Fase Procesamiento, Distribución y Acceso) L</b>	<b>Total L/kg</b>
<b>Sistema Agroecológico</b>	6790	400	7190	29,6	4,7	34,3
<b>Sistema Convencional</b>	394940	524300	919240	759,51	60,8	820,3

**Nota.** Fuente: (Gavilanes, 2018)

Elaborado por: Tocto, 2019

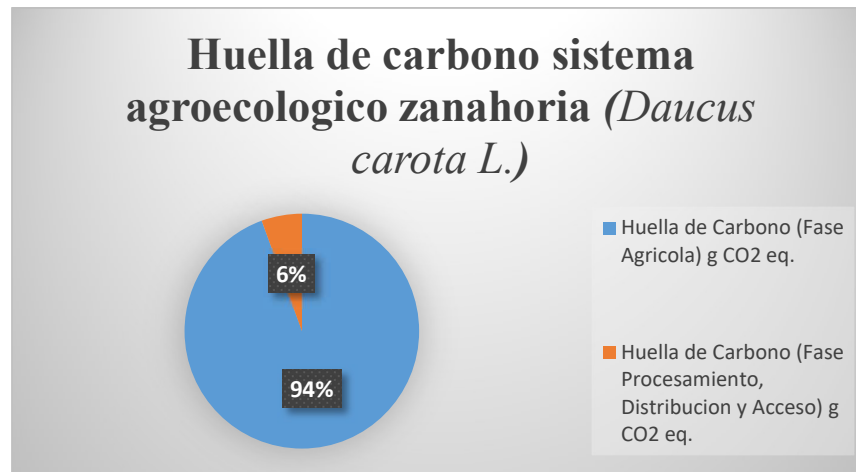


Figura 22: Huella de carbono agroecológica fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de zanahoria (*Daucus carota* L.) % g CO2 eq.

Elaborado por: Tocto, 2019

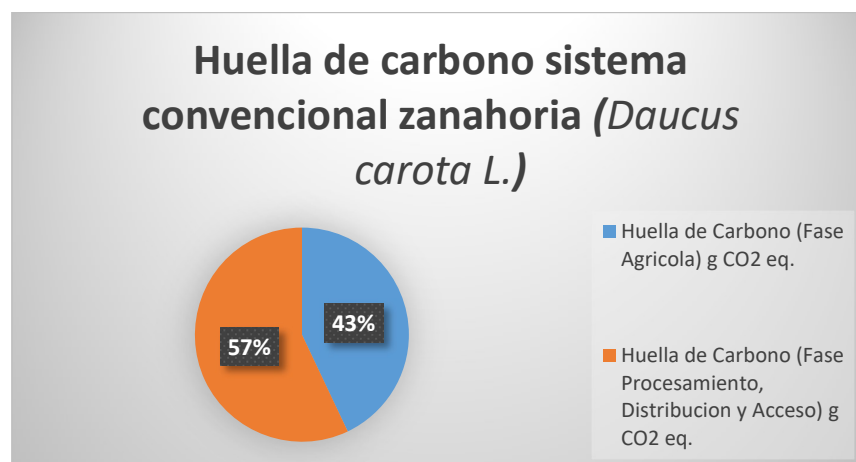


Figura 23: Huella de carbono convencional fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de zanahoria (*Daucus Carota* L.) % g CO2 eq.

Elaborado por: Tocto, 2019

Analizando los datos obtenidos en la Tabla 30 y observando las figuras anteriores, se define que existe una contribución equitativa en g de CO2 eq. en la fase convencional del cultivo de zanahoria, esto se debe al uso de combustibles pesticidas y maquinaria tecnificada para el desarrollo y producción de este cultivo, no así para el cultivo agroecológico en donde existe una marcada contribución por parte de la fase



agrícola en comparación con la fase de procesamiento, acceso y distribución; como dato final la contribución total de un cultivo agroecológico en 7190 g CO<sub>2</sub> eq. es de frente a un 919240 g CO<sub>2</sub> eq. de un cultivo convencional quedando en evidencia la generación superior al 90% del total de las emisiones de este tipo de cultivos.

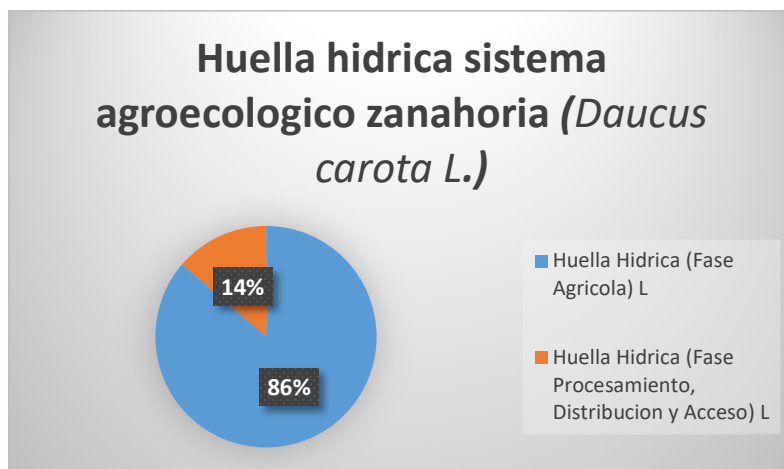


Figura 24: Huella hídrica agroecológica fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de zanahoria (*Daucus Carota* L.) L/kg.

Elaborado por: Tocto, 2019

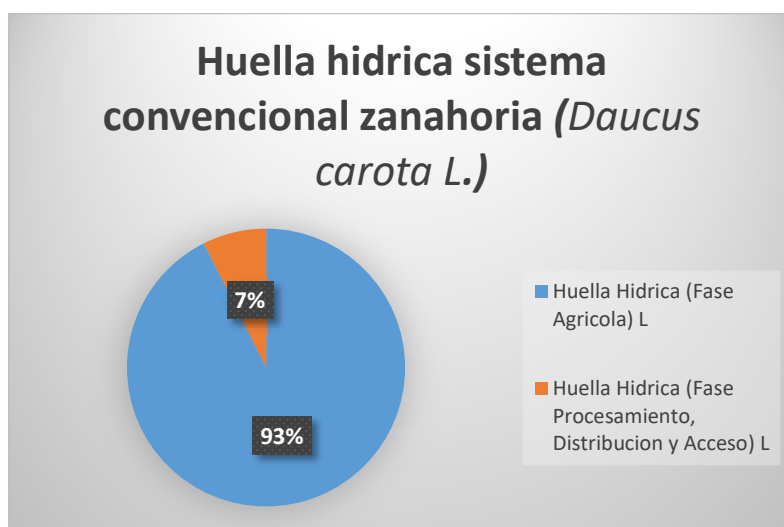


Figura 25: Huella hídrica convencional fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de zanahoria (*Daucus Carota* L.) L/kg.

Elaborado por: Tocto, 2019

Comparando los datos obtenidos, tanto para el sistema convencional como el agroecológico, se puntualiza que existe una marcada contribución por parte de la fase agrícola, esto puede deberse a necesidad de agua de cada cultivo en esta fase, teniendo un gasto del recurso agua en el sistema agroecológico de un 86% dando un total de 34.3 L/ kg de cultivo versus el sistema convencional de un elevado 93% con un consumo de 820 3 L/ kg de cultivo.

*Tabla 31:* Comparación de los datos obtenidos para la fase agrícola vs fase de procesamiento, distribución y acceso cultivo de tomate sistema agroecológico y convencional

<b>Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)</b>	<b>Huella de Carbono (Fase Agrícola) g CO2 eq.</b>	<b>Huella de Carbono (Fase Procesamiento, Distribución y Acceso) g CO2 eq.</b>	<b>Total g CO2 eq./kg</b>	<b>Huella Hídrica (Fase Agrícola) L</b>	<b>Huella Hídrica (Fase Procesamiento, Distribución y Acceso) L</b>	<b>Total L/kg</b>
<b>Sistema Agroecológico</b>	4,59	1700	1704,59	41,11	1,73	42,84
<b>Sistema Convencional</b>	22,67	655400	655422,67	59,57	76	135,5

**Nota.** Fuente:(Taípe, 2018)

Elaborado por: Tocto, 2019

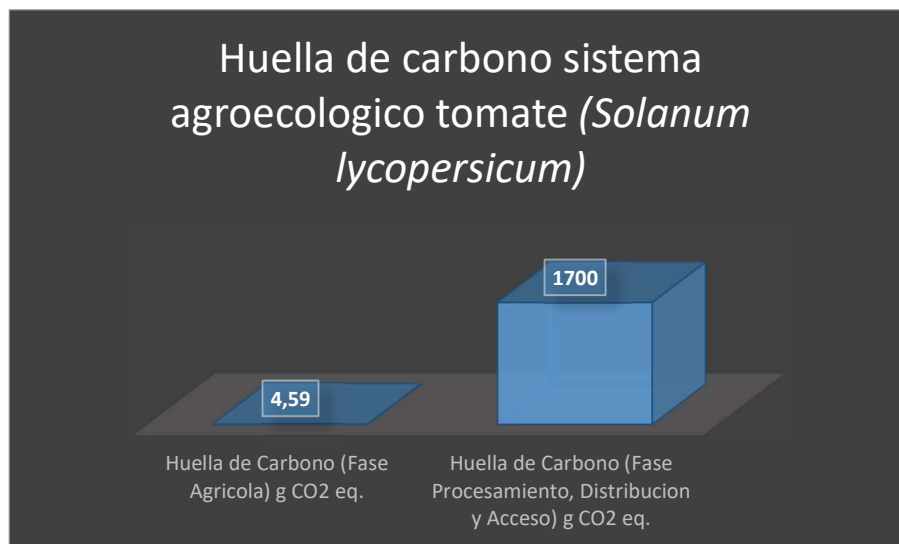


Figura 26: Huella de carbono agroecológica fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de tomate (*Solanum lycopersicum*) g CO2 eq.

Elaborado por: Tocto, 2019

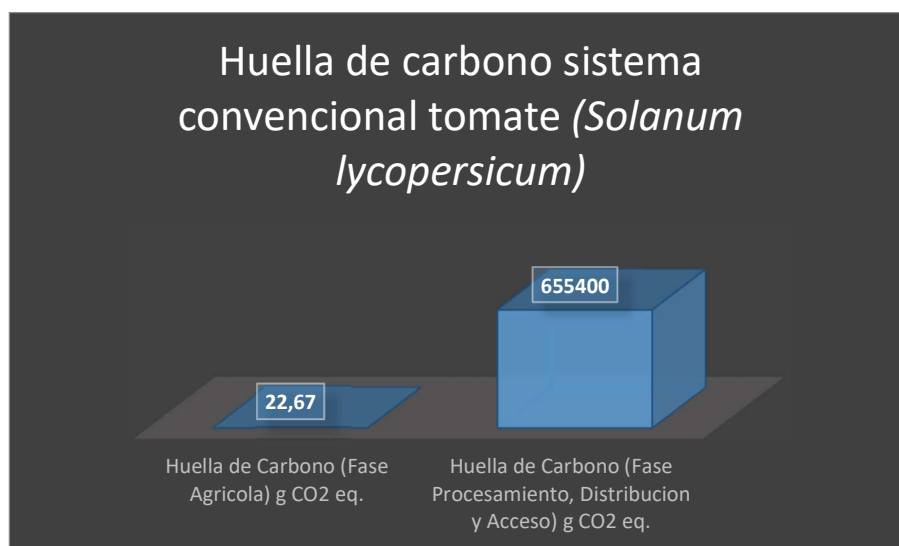


Figura 27: Huella de carbono convencional fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de tomate (*Solanum lycopersicum*) g CO2 eq.

Elaborado por: Tocto, 2019

Cotejando los datos resultantes, tenemos que en ambos sistemas agroecológico y convencional la fase de procesamiento, distribución y acceso es la que mayor cantidad de g CO2 eq. emite al ambiente, dando como resultado en el sistema

agroecológico un total de 1704.59 g CO<sub>2</sub> eq. versus el sistema convencional de un elevado 655422.67 g CO<sub>2</sub> eq.

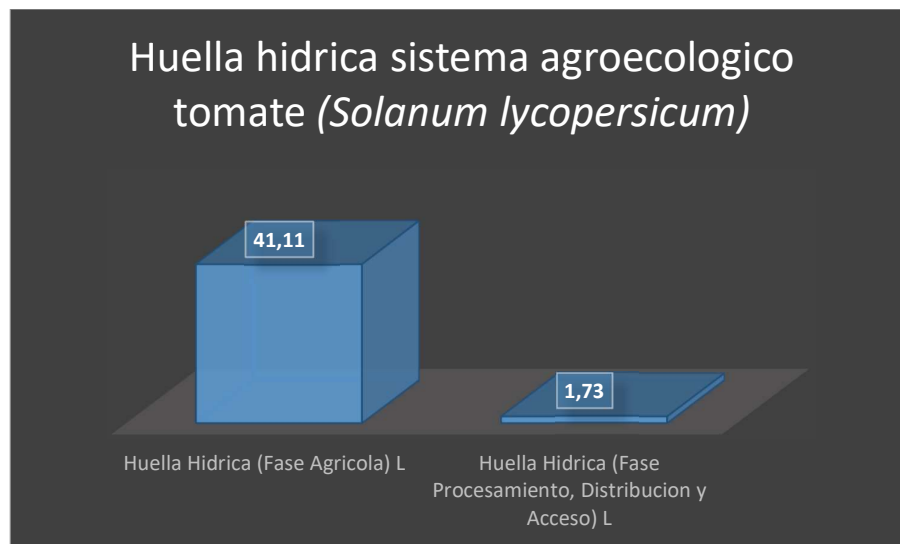


Figura 28: Huella hídrica convencional fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de tomate (*Solanum lycopersicum*) L/kg.

Elaborado por: Tocto, 2019

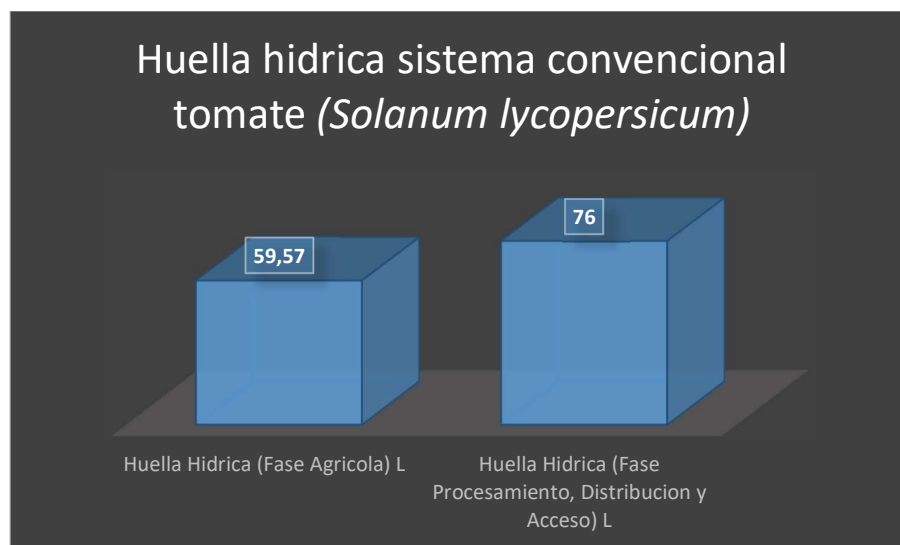


Figura 29: Huella hídrica convencional fase agrícola vs. fase procesamiento, distribución y acceso de tomate (*Solanum lycopersicum*) L/kg.

Elaborado por: Tocto, 2019

En esta parte de la comparación de los datos, se observa que en el sistema agroecológico el mayor consumo de agua se da en la fase agrícola con un 95.96% y

entre las dos fases dan un total de 42.84 L/ kg de cultivo versus el sistema convencional donde el mayor consumo de este recurso se da en la fase de procesamiento, acceso y distribución con 76 L/ kg de cultivo.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El ACV del tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*) sirvió para observar la realidad de la asociación de productores agroecológicos "Buen Vivir" - Tabacundo y "Asociación de Productores Agropecuarios Puliza"- Cayambe, en las fases de Procesamiento, Distribución y Acceso. Por lo que, los alcances plasmados en este estudio fueron de gran utilidad al momento de calcular la Huella de Carbono e Hídrica.

Una vez realizada la visita de campo a los dos sistemas de producción se elaboró un mapa de proceso, en el cual constan los inputs y outputs del tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*) dentro de las fases de estudio antes descritas. La misma que sirvió como punto de partida para la comparación entre lo convencional y agroecológico.

En la etapa de procesamiento agroecológico, destaca la energía eléctrica usada para llevar a cabo este proceso, obteniendo como residuo 0.000212 t de CO<sub>2</sub> eq. En cuanto a la distribución de los productos, el combustible juega un papel importante al momento de calcular la huella de carbono obteniendo un valor de 0.015 t CO<sub>2</sub> eq. Para la fase de Acceso los insumos no son necesarios puesto que el producto es comercializado naturalmente siendo 0 t CO<sub>2</sub> eq.

Dentro de la producción convencional, la fase de procesamiento utiliza mayores insumos como plástico y cartón, haciendo que su huella de carbono incremente con un total de 0.4961 t CO<sub>2</sub> eq. Al igual que en lo agroecológico el diésel es relevante con

un total de 0.07743 t CO<sub>2</sub> eq. en la fase de Distribución. Finalmente en la fase de acceso la energía eléctrica hace que incremente en 0.08197 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

La huella de carbono en los cultivos convencionales de tomate (*Solanum lycopersicum*) y zanahoria (*Daucus carota L.*) están relacionadas con valores de 0.65 y 0.52 t CO<sub>2</sub> eq. respectivamente. Debido a la tecnificación, mecanización y el uso de insumos en los procesos de estos cultivos, se evidencia un incremento de sus emisiones de CO<sub>2</sub> frente a un sistema agroecológico que es un sistema más sustentable y resiliente.

El tomate (*Solanum lycopersicum*) en el sistema de producción convencional es el que mayor huella hídrica presenta con 0.0076 m<sup>3</sup>/kg, debido al consumo descontrolado de agua para la limpieza del mismo, incrementando la presencia de aguas residuales en la zona de estudio convirtiéndose en un impacto ambiental negativo.

Para el cultivo agroecológico de zanahoria en la fase agrícola existe una mayor producción de t CO<sub>2</sub> eq. comparado con los valores en la fase de procesamiento, distribución y acceso. En contraste con el cultivo convencional donde la mayor producción de t CO<sub>2</sub> eq, se encuentra en la fase de procesamiento, distribución y acceso.

Finalmente se concluye que el sistema de producción agroecológico en las fases de procesamiento, distribución y acceso, es sostenible y contamina en menor cantidad que un sistema de producción convencional. Además, el sistema convencional al tener procesos tecnificados deriva en un mayor gasto energético y de recursos, los cuales los encaminan a ser inviables e insostenibles en el tiempo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Anton, M. A. (2012). ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA APLICADO A HORTICULTURA PROTEGIDA, 211–226.
- Bolaños, M. (2011). Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras.
- Carlsson-Kanyama, A. (2014). Food Consumption Patterns and their on Influence Climate Change, 27(7), 528–534.
- Charvet, E. B. (2012). Análisis comparativo de agricultura orgánica con agricultura convencional-Estudio de caso del cultivo de Brócoli, 1–106. Retrieved from <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5180/T-PUCE-5406.pdf;jsessionid=04BFE59F33BBA31848B8C37CE02AE756?sequence=1>
- CTA. (2013). Guía metodológica de aplicación de huella hídrica en cuenca, 121. Retrieved from [http://www.suizaguacolombia.net/es/Inicio/media/GUIA\\_METODOLOGICA\\_HH Cuenca.pdf](http://www.suizaguacolombia.net/es/Inicio/media/GUIA_METODOLOGICA_HH_Cuenca.pdf)
- Duran, C. (2006). REACCION FENOLOGICA Y AGRONOMICA DE DOS CULTIVARES DE ZANAHORIA ( *Daucus carota* ) A LA.
- FAO. (2007). Abastecimiento y distribución de alimentos en las ciudades.
- Gavilanes, D. (2018). *ESTIMACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FASE AGRÍCOLA DE LA CADENA*

*AGROALIMENTARIA CONVENCIONAL Y AGROECOLÓGICA DE LA  
ZANAHORIA (DAUCUS CAROTA) EN LAS JUNTAS PARROQUIALES “LA  
ESPERANZA” Y “TABACUNDO”, CANTÓN PEDRO M.*

Heifer, E., & MAGAP. (2014). *La agroecología está presente, mapeo de  
productores agroecologicos y del estado de la agroecología en la sierra y costa  
ecuatoriana.*

INIAP. (2008). Informe nacional sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la  
agricultura y la alimentación. *INFORME NACIONAL SOBRE EL ESTADO DE  
LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA  
ALIMENTACIÓN.*

Leiva, E. H. (2016). Análisis de Ciclo de Vida Master en Ingeniería y Gestión Índice.

López, A. (2011). Universidad San Francisco de Quito Colegio de Agricultura ,  
Alimentos y Nutrición Estudio de factibilidad para la producción y  
comercialización de la zanahoria ( *Daucus carota* L ), híbrido Cupar , en el  
Chaupi , provincia de Pichincha Andrés Francisco Lóp. Retrieved from  
<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1369/1/102391.pdf>

MAGAP. (2015). Figura 2.– Precios internacionales de cacao en grano durante el año  
2015, 1–7.

Oficina Española de cambio climático, Ministerio de Agricultura, A. y M. A. (2016).  
Guía Para El Cálculo De La Huella De Carbono Y Para La Elaboración De Un  
Plan De Mejora De Una Organización. *Oecc*, 1(3), 61. Retrieved from  
[http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-  
medidas/guia\\_huella\\_carbono\\_tcm7-379901.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm7-379901.pdf)

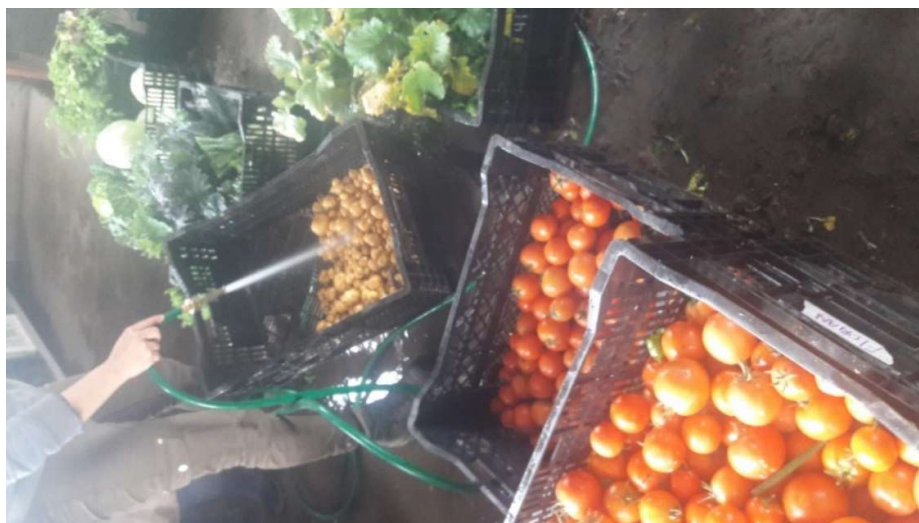


- Ortega, G. (2009). Agroecología vs. Agricultura Convencional. *Base de Las Investigaciones Sociales*. Retrieved from <http://www.baseis.org.py/wp-content/uploads/2014/03/1395155082.pdf>
- Pérez, F. (2013). Análisis del Ciclo de Vida Comparativo de una Mermelada de Naranja Ecológica y no Ecológica, 184.
- Restrepo M., J., Angel S., D. I., & Prager M., M. (2000). *Agroecología*. Cedaf. Retrieved from [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/training\\_material/docs/Agroecologia.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Agroecologia.pdf)
- Roig, M. (2017). Determinación de la Huella de Carbono de productos agrícolas en una finca de agricultura ecológica.
- Taipe, C. (2018). *ESTIMACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FASE AGRÍCOLA DE LA CADENA AGROALIMENTARIA CONVENCIONAL Y AGROECOLÓGICA DEL TOMATE (SOLANUM LYCOPERSICUM) EN LAS JUNTAS PARROQUIALES “LA ESPERANZA” Y “TABACUNDO”, CANTÓN PEDRO*.
- Trujillo, J. M., & Trujillo, J. M. (2016). Evaluación ambiental de sistemas de producción de hortalizas en el Oriente Antioqueño a partir de análisis de ciclo de vida.
- Universidad Politecnica de Cataluña. (2011). Revista Internacional de Sostenibilidad Tecnología y Humanismo.
- Vilches, R. (2007). APLICACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA

## DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA MINERÍA.

Water Footprint Network. (n.d.). Manual de Evaluacion Huella Hidrica.

## 8. ANEXOS



Anexo 1: Lavado de cultivo Agroecológico.

Elaborado por: Tocto, 2019



Anexo 2: Tomate agroecológico cosechado fase procesamiento.

Elaborado por: Tocto, 2019



Anexo 3: Cultivo de zanahoria agroecológica fase de procesamiento.

Elaborado por: Tocto, 2019



Anexo 4: Almacenamiento productos agroecológicos para su entrega.

Elaborado por: Tocto, 2019





Anexo 5: Almacenamiento productos agroecológicos.

Elaborado por: Tocto, 2019



Anexo 6: Cultivos de zanahoria y tomate agroecológicos.

Elaborado por: Tocto, 2019



Anexo 7: Camión repartidor fase de distribución.

Elaborado por: Tocto, 2019